



ISPR A

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2-2-1960)

**NOTE ILLUSTRATIVE
della
CARTA GEOLOGICA D'ITALIA
alla scala 1:50.000**

foglio 222

LUGO

A cura di:

L. Calabrese¹, U. Cibin¹

Con i contributi di:

**A. Ceriani², M.L. Colalongo³, A. Di Giulio²,
F. Fiorini³, F. Fusco³, M. Ricci Lucchi³**

¹ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

² Dipartimento di Scienza della Terra, Università degli Studi di Pavia

³ Dipartimento di Scienza della Terra e Geologico Ambientali, Università di Bologna

Ente realizzatore:



Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Direttore del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:
Andrea Todisco

Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:
Fabrizio Galluzzo

Responsabile del Progetto CARG per la Regione Emilia-Romagna:
Raffaele Pignone

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - ISPRA:

Revisione scientifica:

C. D'Ambrogi, M. D'Orefice, M. Rossi

Coordinamento cartografico:

D. Tacchia (coordinatore), **V. Pannuti**

Revisione informatizzazione dei dati geologici:

L. Battaglini, C. Cipolloni, D. Delogu, M.C. Giovagnoli (ASC), R. Ventura

Coordinamento editoriale:

V. Pannuti

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI - REGIONE EMILIA-ROMAGNA:

Coordinamento informatizzazione:

M. Grandi, A. Martini (direzione lavori), **I. Pellegrino**

Coordinamento allestimento cartografico per la stampa:

A. Angelelli (direzione lavori), **S. Scappini**

*Informatizzazione e allestimento cartografico per la stampa
a cura di **InfoCartoGrafica** - Piacenza*

GESTIONE TECNICO-AMMINISTRATIVA DEL PROGETTO CARG:

M.T. Lettieri - Servizio Geologico d'Italia - ISPRA

G. Falanga, S. Stagni - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna

Si ringraziano i componenti dei Comitati Geologici per il loro contributo scientifico

Stampa:

INDICE

I	- INTRODUZIONE	pag.	5
II	- INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	»	7
1.	- GEOMORFOLOGIA	»	7
2.	- ASSETTO STRUTTURALE DEL SOTTOSUOLO	»	10
III	- STUDI PRECEDENTI	»	11
IV	- METODOLOGIA DI STUDIO	»	15
1.	- CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE	»	15
2.	- CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO ED ANALISI STRATIGRAFICA	»	18
2.1.	- ANALISI DEI DATI GEOFISICI	»	18
2.2.	- REALIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOGNOSTICI	»	21
2.3.	- LA RICOSTRUZIONE PRELIMINARE DEI RAPPORTI STRATIGRAFICI	»	21
2.4.	- ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO	»	23
V	- STRATIGRAFIA	»	29
1.	- DEFINIZIONE DEL CRITERIO STRATIGRAFICO UTILIZZATO	»	29
2.	- ASSETTO STRATIGRAFICO - STRUTTURALE	»	31
3.	- LE UNITÀ PIÙ ANTICHE DEL SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	»	35
4.	- SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	»	35
4.1.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	»	37
4.2.	- SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	»	38
4.2.1.	- <i>Subsintema di Bazzano</i>	»	42
4.2.2.	- <i>Subsintema di Villa Verucchio</i>	»	43
4.2.3.	- <i>Subsintema di Ravenna</i>	»	46
VI	- SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE	»	53
1.	- DEPOSITI ALLUVIONALI	»	54
1.1.	- DEPOSITI DI CONOIDE E PIANA ALLUVIONALE	»	54
1.1.1.	- <i>Ghiaie di riempimento di canale fluviale</i>	»	54
1.1.2.	- <i>Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale</i>	»	54
1.1.3.	- <i>Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale</i> ..	»	55
1.1.4.	- <i>Argille e limi di piana inondabile</i>	»	56
1.1.5.	- <i>Argille e limi con sostanza organica palustri</i>	»	57
2.	- DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI	»	58
2.1.	- DEPOSITI DI PIANA DELTIZIA	»	58

2.1.1.	- <i>Alternanze di sabbie e limi di argine e canale distributore</i>	»	58
2.1.2.	- <i>Argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice. »</i>		59
2.1.3.	- <i>Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna</i>	»	59
2.2.	- <i>SABBIE DI CORDONE LITORALE</i>	»	60
2.3.	- <i>ARGILLE E LIMI DI PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA</i>	»	61
2.4.	- <i>SABBIE FLUVIO-DELTIZIE E DI PIATTAFORMA INDIFFERENZIATE</i>	»	62
VII	- LA SEDIMENTAZIONE DI AES NEL SETTORE ROMAGNOLO DELLA PIANURA PADANA	»	63
VIII	- CARTOGRAFIA	»	71
1.	- <i>CARTA GEOLOGICA</i>	»	71
2.	- <i>FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA - GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO</i>	»	73
	APPENDICE 1		
	STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI	»	79
	APPENDICE 2		
	MICROPALEONTOLOGIA E PALINOLOGIA DEL SONDAGGIO PROFONDO 222-S2	»	91
	APPENDICE 3		
	PALINOLOGIA DEI SONDAGGI 222-S4 E 222-S6	»	103
	APPENDICE 4		
	ANALISI PETROGRAFICHE	»	109
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	»	116

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia ENI - Divisione AGIP per la consultazione e la parziale divulgazione dei dati di sottosuolo che hanno consentito lo studio, a scala regionale, dell'architettura dei depositi quaternari di sottosuolo ed hanno contribuito alla costruzione delle sezioni geologiche riportate nel Foglio Allegato.

Per le interessanti discussioni sull'evoluzione storico geologica del territorio tra Lugo e Conselice un vivo ringraziamento va a Mentino Preti e ad Augusto Fabbri; quest'ultimo si ringrazia ulteriormente per il contributo economico nella realizzazione del sondaggio 222-S18.

Si ringrazia inoltre Carlotta Franceschelli per i chiarimenti e le utili discussioni sui dati archeologici.

Si ringraziano tutti gli Enti pubblici, Privati e liberi professionisti che hanno fornito i dati raccolti nella banca dati geognostici del Foglio 222. In particolare, dato il cospicuo numero di dati forniti, si ricordano: i Comuni di Imola e di Lugo, la Provincia di Bologna e di Ravenna, il consorzio del Canale Emiliano-Romagnolo, i consorzi di bonifica, le Ferrovie dello Stato e l'Azienda Multiservizi Intercomunale di Imola.

I - INTRODUZIONE

L'analisi del Foglio 222 è stata affrontata con l'obiettivo di ricostruire l'assetto tridimensionale dei depositi della pianura e di rappresentarlo tramite la carta geologica di superficie (Carta Geologica *sensu stricto*), la carta di sottosuolo e numerose sezioni geologiche realizzate con diversi gradi di dettaglio (Foglio Allegato alla Carta Geologica - Geologia di Sottosuolo). Per questo motivo il rilevamento geologico del Foglio è stato condotto attraverso l'analisi integrata di dati di superficie e di sottosuolo e, nell'ambito della Carta Geologica d'Italia, proprio la cartografia di sottosuolo qui prodotta costituisce un elemento di novità che viene considerato dai realizzatori del Foglio un importante strumento propedeutico per le analisi geologiche delle aree di pianura. Questo lavoro è stato realizzato grazie alla disponibilità di un archivio di dati stratigrafici: la banca dati geognostici, realizzata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. La banca dati, inoltre, è stata arricchita di nuove prove geognostiche, quali sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche e trivellate manuali, eseguite *ad hoc* durante il rilevamento del Foglio.

PROGETTO
CARG

II - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

1. - GEOMORFOLOGIA

Il Foglio 222 “Lugo” comprende un’area situata tra le province di Bologna e Ravenna (fig. 1) e si estende dal settore compreso tra Imola e Lugo fino al territorio immediatamente a sud degli abitati di Molinella e Argenta e delle Valli di Comacchio. Questo territorio è caratterizzato da una superficie topografica piuttosto regolare che si immerge progressivamente verso NE fino a raggiungere il livello del mare; esso può essere distinto in due settori: un settore di alta pianura ed uno di bassa pianura.

L’alta pianura si sviluppa a ridosso del margine appenninico ed è caratterizzata da quote comprese tra 50 e 10 m s.l.m., da gradienti relativamente elevati (circa 1 m di quota ogni 300 m) e da un reticolo idrografico generalmente inciso. Le quote topografiche più elevate si registrano nell’angolo di SO, a sud di Castel Guelfo, fino ad arrivare a nord all’allineamento Bagnacavallo - Lugo - Massa Lombarda - Buda.

La bassa pianura è caratterizzata da quote inferiori (comprese tra 10 e -1 m s.l.m.), da gradienti bassi (circa 1 m di quota ogni 2 km) e da un reticolo idrografico non inciso, generalmente pensile. Nel margine settentrionale del Foglio è tipicamente diffusa una morfologia valliva caratterizzata da ampie zone depresse (aree di intercanale e casse di espansione) separate da rilevati e dossi (argini e canali). In particolare, a nord degli abitati di S. Biagio e Filo e ad ovest di Longastrino (Foglio 223), si individuano aree topograficamente depresse che raggiungono quote di 1 m al di sotto del livello del mare.

Tutta l’area in esame è occupata dai depositi di piana alluvionale tardo-quaternari della Pianura Padana mentre i depositi terrazzati di conoide del margine appenninico affiorano poco più a sud, nell’area di interesse del Foglio 239 e

verso ovest nel Foglio 221 (fig. 2).

Il reticolo di corsi d'acqua è piuttosto fitto. I fiumi principali, che scorrono da SO verso NE, seguendo il gradiente topografico regionale, sono (da ovest) il T. Sillaro, il F. Santerno e il F. Senio. Nel margine NE del Foglio è presente, con andamento NO-SE quasi perpendicolare ai precedenti corsi d'acqua, un tratto artificializzato del F. Reno, nel quale confluiscono il T. Sillaro, in prossimità dell'abitato di S. Biagio, e il F. Santerno, a nord di Voltana. Questi corsi d'acqua sono alimentati da bacini idrografici montani relativamente poco estesi: quello del T. Sillaro è di c.a. 135 km², quello del F. Santerno è di c.a. 420 km² e quello del F. Senio è di c.a. 270 km².

Nelle zone di alta pianura, limitatamente al margine di SO a sud di Castel Guelfo, il T. Sillaro è inciso nei depositi della pianura lungo scarpate di terrazzo di pochi metri. Nell'area restante i corsi d'acqua sono confinati entro argini, in gran parte artificiali, che diventano particolarmente elevati nel settore della bassa pianura dove il massimo dislivello argine-pianura raggiunge i 10 m.

I corsi d'acqua secondari sono costituiti da una fitta rete di torrenti, fossi, scoli e canali di bonifica che drenano gran parte dell'area del Foglio, ma che si concentrano particolarmente nei quadranti settentrionali della bassa pianura.

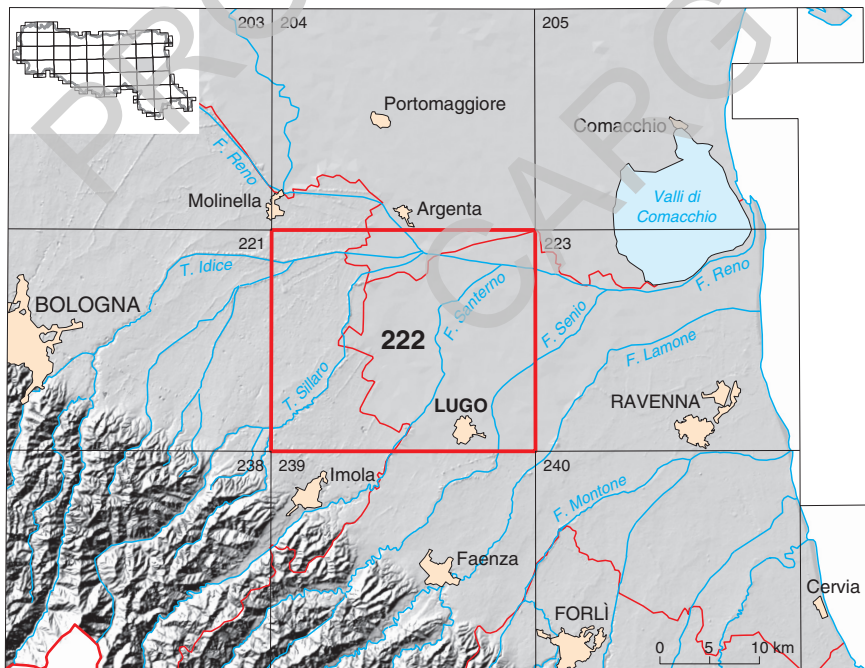


Fig. 1 - Ubicazione del Foglio 222 Lugo con indicazione dei limiti provinciali (in rosso).

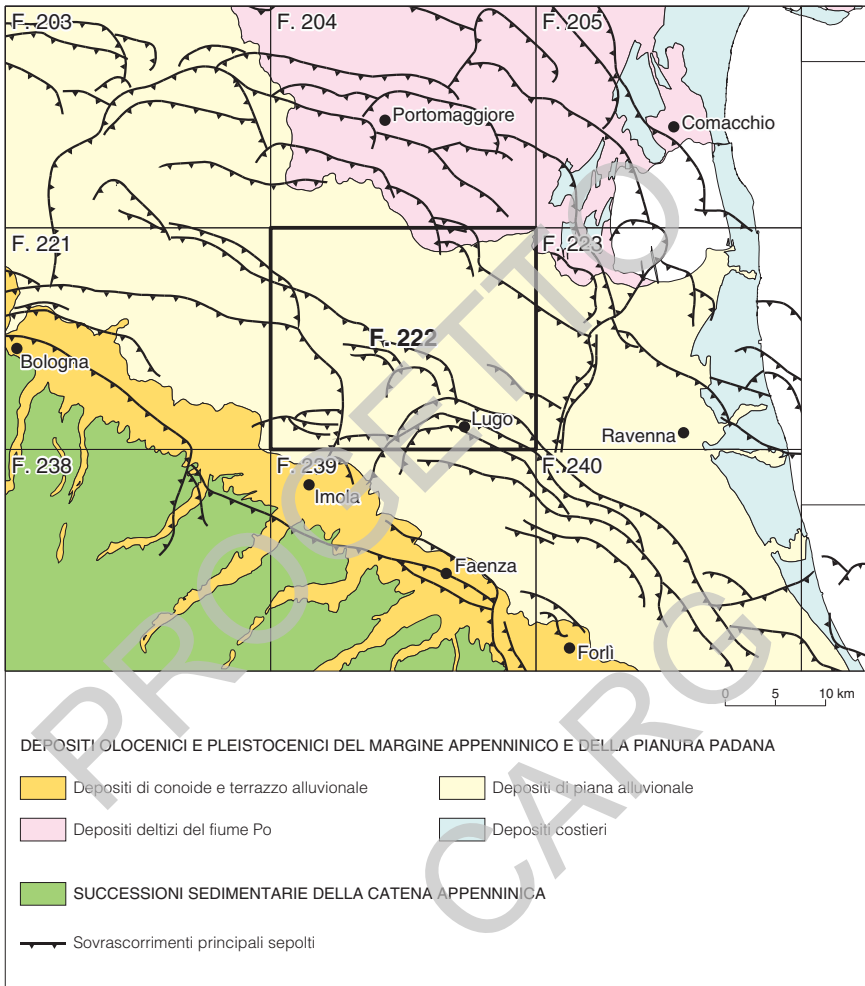


Fig. 2 - *Inquadramento geologico-strutturale. Sono riportate le tracce dei principali sovrascorrimenti sepolti; i depositi affioranti del margine appenninico e della pianura padana sono distinti sulla base dei principali domini deposizionali (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999 e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR, 2002).*

Si sottolinea il fatto che le forme dei depositi e i processi sedimentari legati all'attività dei corsi d'acqua sono stati profondamente modificati dall'intervento antropico; l'attuale aspetto geomorfologico del Foglio, come la maggior parte della pianura emiliano-romagnola, è un chiaro prodotto dell'interazione tra l'evoluzione naturale della piana alluvionale e l'attività dell'uomo.

2. - ASSETTO STRUTTURALE DEL SOTTOSUOLO

L'assetto strutturale delle successioni sepolte plio-pleistoceniche nel settore di pianura in esame è dato da una serie di pieghe e *thrust* ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE ed è stato descritto a scala regionale nei lavori di PIERI & GROPPI (1981), CNR (1990) e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002).

Il Foglio 222 (fig. 2) si estende in un settore caratterizzato da un prima fascia di pieghe e sovrascorrimenti sepolti, più prossima al margine appenninico e circa parallela ad esso e da una seconda fascia più esterna e con forma arcuata (rispettivamente "pieghe romagnole e ferraresi" in PIERI & GROPPI, 1981). Tra queste due fasce dominate dalle culminazioni strutturali si estende nella parte centrale e settentrionale un'ampia sinclinale, il cui asse è orientato circa NO-SE. Questo assetto strutturale è complicato dalla presenza di importanti discontinuità (rampe laterali, *tear faults*) con orientamento trasversale rispetto al margine che si individuano, in particolare, in corrispondenza della valle e del corso del F. Santerno, a nord di Bologna ed immediatamente ad ovest di Ravenna.

III - STUDI PRECEDENTI

La cartografia geologica ufficiale che precede la realizzazione di questo Foglio è data da: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:100.000 Foglio 88 Imola (1958) e Foglio 98 Ravenna (1956). Nel Foglio 88, più ricco di informazioni, sono distinti i depositi quaternari e terziari e sono riportate indicazioni sommarie riguardanti la morfologia, l'ambiente deposizionale e l'età (alluvioni di fondovalle oloceniche, terrazzi pleistocenici medio-sup., ecc.); nei depositi della bassa pianura sono fatte anche alcune distinzioni litologiche sulla base della prevalenza di sabbie ed argille. In carta sono anche riportati i siti archeologici e l'età dei reperti. Nelle sezioni geologiche allegate ai Fogli, i depositi quaternari continentali sono indistinti mentre l'andamento delle successioni pre-pleistoceniche è ricostruito attraverso le indagini sismiche e i pozzi per idrocarburi dell'AGIP (i.e. "Consandolo" e "Imola").

Oltre alla cartografia geologica ufficiale sono disponibili alcune carte dell'area in esame di tipo tematico; fra queste si segnalano quelle di *ELMI et alii* (1987) ed *ELMI & NESCI* (1991) che trattano gli aspetti geomorfologici del margine appenninico e dell'alta pianura romagnola e dove sono rappresentati i terrazzi fluviali, le conoidi alluvionali, i rilievi deposizionali e le depressioni della pianura. Una sintesi delle conoscenze geomorfologiche relative all'intera Pianura Padana è riportata nella Carta Geomorfologica della Pianura Padana in scala 1:250.000 (MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA, 1997).

Per quanto riguarda le conoscenze sui depositi della pianura di questo settore, ed in particolare della pianura ravennate, forlivese e cesenate, un grande contributo si deve ad Antonio Veggiani, il quale ha incentrato i propri studi per comprendere l'evoluzione storico-geologica del paesaggio tramite l'integrazione dei dati storici, archeologici e geomorfologici. Fra i suoi numerosissimi lavori si ricordano quelli di ricostruzione paleoambientale dei territori della bassa pia-

nura imolese (es. VEGGIANI, 1963, 1982) e le sintesi delle conoscenze relative alle relazioni fra eventi climatici, storici ed evoluzione del paesaggio nella Pianura Padana sud-orientale (VEGGIANI 1984b, 1986, 1987, 1990 e 1994). A questi lavori si può affiancare lo studio di CREMONINI del 1994 sul territorio di Bagnacavallo.

I ritrovamenti archeologici e le notizie relative alla frequentazione dell'uomo nel territorio del Foglio 222 in epoca storica e preistorica, sono ben illustrati nei lavori di SCAGLIARINI (1968), VON ELES MASI & STEFFE (1986a, 1986b), FACCHINI & GUERRA (1970) e GUARNIERI (1994). Questi costituiscono un'importante fonte di informazioni per la datazione dei depositi alluvionali affioranti e del primo sottosuolo (si veda "IV - Metodologia di studio").

Nella stesura del Foglio 222 e delle note illustrative ci si è ampiamente basati su alcuni lavori di stratigrafia e cartografia dei depositi alluvionali quaternari (sia di superficie sia di sottosuolo) che non riguardano specificamente questo settore della pianura emiliano-romagnola ma che costituiscono un riferimento essenziale per l'inquadramento regionale dei depositi alluvionali padani.

Da un punto di vista strettamente stratigrafico si segnala il lavoro di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) che utilizza un criterio di tipo sequenziale per lo studio della successione quaternaria affiorante nel margine appenninico, suddividendola in due cicli sedimentari principali: uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). A questo lavoro si aggiungono quelli di FARABEGOLI & ONOREVOLI (1989) e FARABEGOLI *et alii* (1997) che riconoscono nel sottosuolo della pianura dei cicli deposizionali costituiti da alternanze a scala pluridecаметrica di depositi alluvionali grossolani e fini. I caratteri interni di questi cicli vengono rappresentati tramite carte di sottosuolo con isobate ed isopache. In questi lavori viene anche presentato un tentativo di correlazione fra i cicli di sottosuolo ed i depositi terrazzati affioranti, classificati sulla base della loro giacitura, tipo di alterazione superficiale ed età archeologica.

A partire dal lavoro di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) propongono uno schema stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo per tutto il Pleistocene-Olocene (fig. 3), largamente basato su dati di stratigrafia sismica e perforazioni petrolifere. In questo studio i principali cicli sedimentari Qm e Qc (definiti rispettivamente Supersintema del Quaternario Marino e Supersintema Emiliano-Romagnolo) vengono ulteriormente suddivisi in sequenze deposizionali di rango gerarchico inferiore che, all'interno del Supersintema Emiliano-Romagnolo, hanno una durata di c.a. 100.000 anni ciascuna e rappresentano l'unità base, a scala regionale, in cui si organizzano i depositi di riempimento della Pianura Padana. Si ricordano inoltre AMOROSI & FARINA (1995), AMOROSI *et alii* (1996) ed AMOROSI *et alii* (2000) per lo studio dei cicli deposizionali pluridecаметrici nel sottosuolo della pianura bolognese e per le ipotesi di correlazione fra questi ed i depositi terrazzati affioranti ed AMOROSI *et alii* (1999a, 1999b, 2003, 2004) per lo studio dell'evoluzione tardo-pleistocenica ed olocenica della pianura costiera romagnola. In figura 3, oltre alle suddivisioni stratigrafiche di alcuni degli Autori sopra citati, ne sono riportate

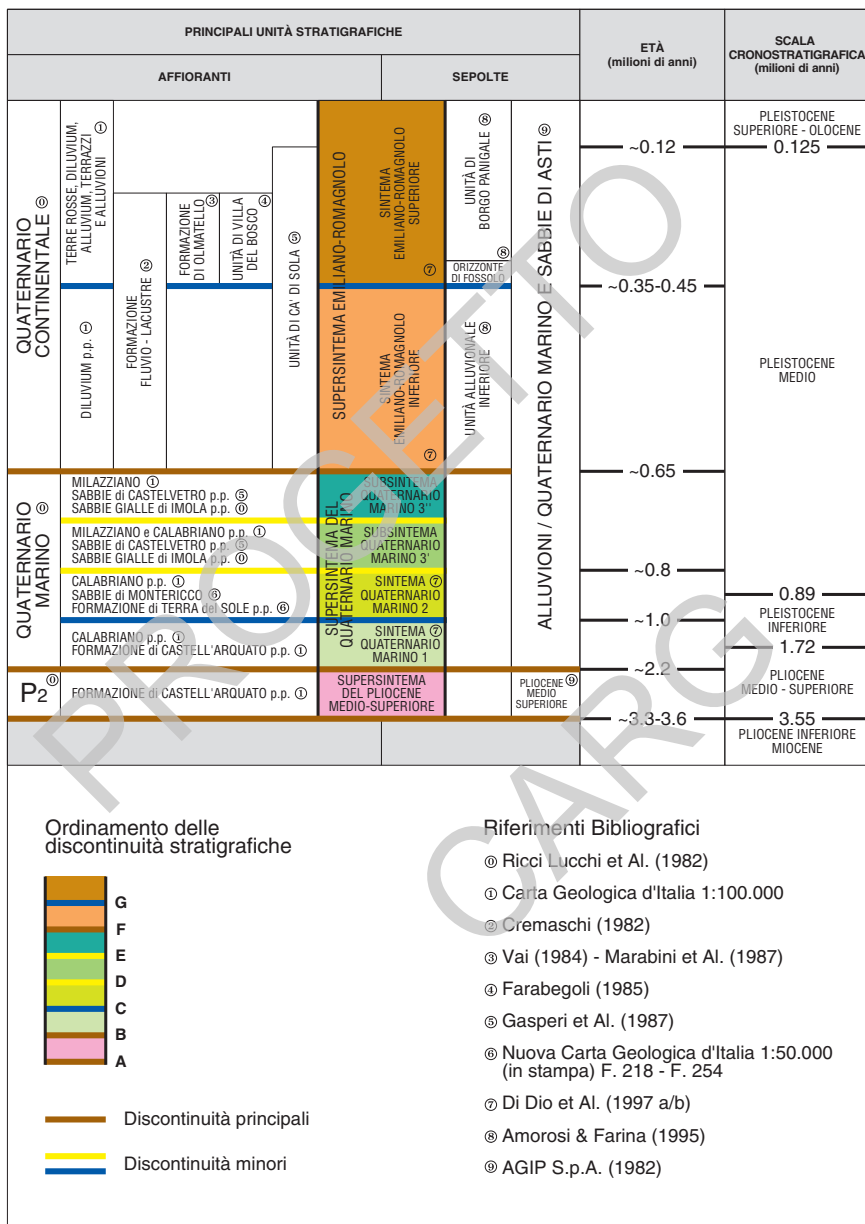


Fig. 3 - Schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano, con indicazione delle principali unità stratigrafiche, delle superfici di discontinuità e delle sequenze deposizionali (da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

altre, per l'approfondimento delle quali si rimanda al riferimento bibliografico.

Da un punto di vista più strettamente cartografico, la Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA 1999) ha costituito un documento di riferimento basilare; essa rappresenta, in modo riassuntivo, i depositi alluvionali, deltizi e costieri della pianura emiliano romagnola sulla base sia dei caratteri litologici e degli ambienti deposizionali sia dei caratteri pedostratigrafici. Infine i diversi Fogli geologici della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 (Fogli 180, 199, 220, 223, 239, 240, 241, 255, 256), molti dei quali in corso di completamento e di stampa, sono stati utilizzati come esempi di cartografia geologica di superficie e sottosuolo di aree pedeappenniniche. Fra questi si segnalano, con particolare riguardo, la CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002) e Foglio 240-241 Forlì-Cervia (2005), che hanno costituito un modello generale di riferimento per la stesura di questo Foglio.

IV - METODOLOGIA DI STUDIO

La progettazione dei rilievi delle aree di pianura è stata eseguita nel rispetto delle linee guida per il rilevamento e la cartografia, stabilite dal Comitato Geologico della Pianura Padana (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992).

Le unità geologiche distinte in superficie in questo Foglio ed in quelli limotrofi sono in parte riconoscibili anche nel sottosuolo. Ciò ha reso indispensabile integrare i dati e le metodologie di indagine tra le porzioni affioranti e quelle sepolte.

1. - CARTOGRAFIA DI SUPERFICIE

Lo studio dei terreni di superficie si è effettuato preliminarmente attraverso l'analisi di foto aeree pancromatiche alle scale 1:30.000 (volo RER 1985), 1:75.000 (volo Italia 1994) e ortofoto digitalizzate, georeferenziate e geometricamente corrette (volo AIMA 1996). L'analisi del colore, del tono e del suo *pattern*, della tessitura e densità del drenaggio, dell'uso del suolo e l'analisi morfologica dedotta dall'altimetria hanno permesso: a) il riconoscimento in via preliminare delle principali unità geomorfologiche quali canali e argini naturali, ventagli di rota, piane inondabili, ecc.; b) una valutazione sulla litologia dei sedimenti associati a queste unità, e c) una valutazione sul grado di alterazione degli stessi (FAO, 1967, REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1994).

Una seconda fase di lavoro ha riguardato l'analisi di immagini da satellite attraverso la quale è stato possibile verificare ed approfondire i risultati ottenuti dalla fotointerpretazione. In particolare si è fatto uso di un'immagine acquisita il 12 ottobre 1986 dal sensore Thematic Mapper (TM) a bordo del satellite Landsat 5 nelle bande 4,5,3, corretta geometricamente ed elaborata per migliorarne il

contrasto cromatico al fine di evidenziare quelle variazioni meglio relazionabili ai caratteri geologici superficiali del terreno (fig. 4).

Le informazioni geomorfologiche, litologiche e pedologiche dedotte dall'analisi delle foto aeree e dell'immagine da satellite sono poi state controllate e completate attraverso dati di trivellate manuali spinte sino alla profondità di 1,5 metri dal piano campagna, sondaggi e dati pedologici (fig. 5). Le informazioni pedologiche (tessitura e grado di alterazione dei suoli affioranti) sono state tratte dalla Banca Dati dei Suoli 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi delle tessiture ha permesso di verificare e caratterizzare dal punto di vista li-

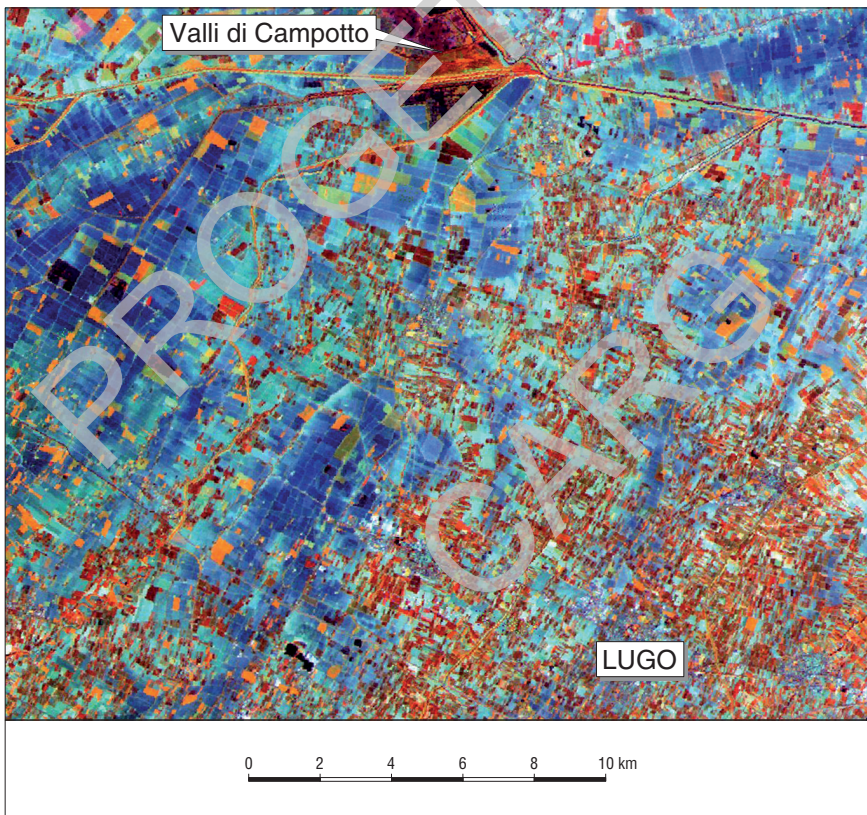


Fig. 4 - Immagine da satellite della pianura emiliano-romagnola dell'area del Foglio 222. Acquisizione del 12 ottobre 1986; sensore Thematic Mapper (TM); satellite Landsat 5; bande 4,5,3; sono state effettuate correzioni geometriche ed elaborazioni cromatiche sull'immagine originaria. Copyright ESA 1986, distribuzione Eurimage, Telespazio per l'Italia. Da un punto di vista litologico le tonalità di blu corrispondono ai depositi fini della piana inondabile, mentre le tonalità di azzurro corrispondono ai depositi più grossolani di canale e argine fluviale.

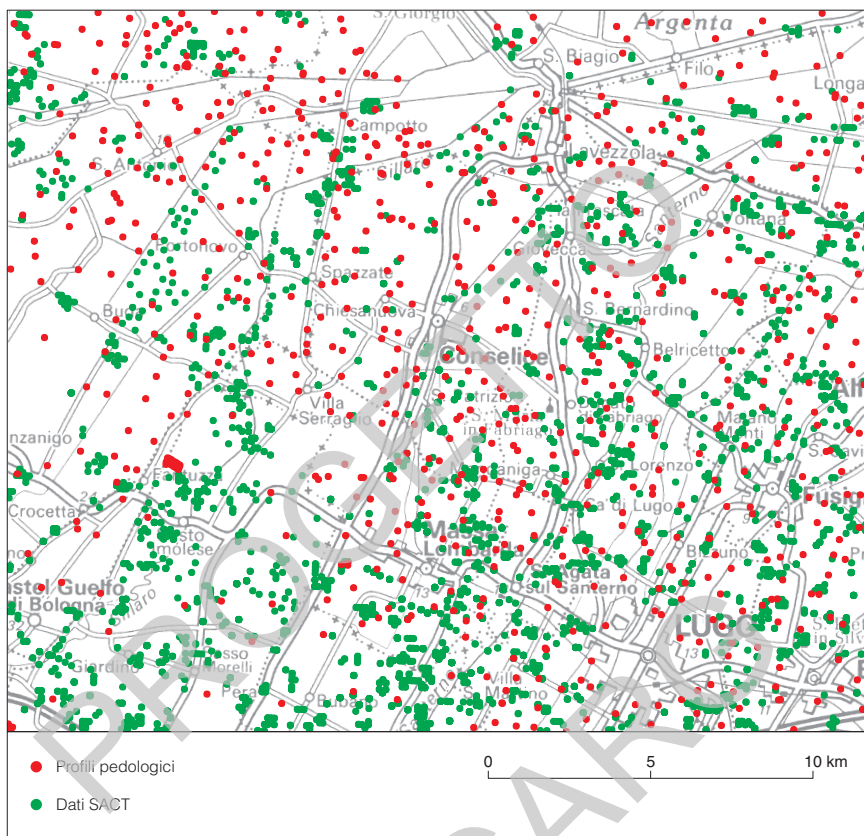


Fig. 5 - Distribuzione in pianta dei dati pedologici utilizzati per la carta geologica (Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna). Dati SACT a cura del Servizio Analisi e Consulenza Terreni (Servizio Sviluppo Agro-alimentare, RER).

tologico le unità morfologiche individuate dalle foto aeree e dall'immagine da satellite; mentre l'analisi del grado di alterazione ha consentito la stima dell'età minima del sedimento.

Informazioni sull'età effettiva dei sedimenti affioranti sono state dedotte dall'analisi dei reperti archeologici. A tal fine è stata realizzata, in collaborazione con la Sovrintendenza Archeologica dell'Emilia-Romagna, una raccolta bibliografica dei reperti archeologici, alla quale è seguita la compilazione di una banca dati e una rappresentazione cartografica degli stessi sul territorio (fig. 6).

Per il Foglio 222, è stato condotto dalla dott.ssa C. FRANCESCHELLI un aggiornamento delle fonti bibliografiche ed una valutazione critica dei singoli dati archeologici già raccolti.

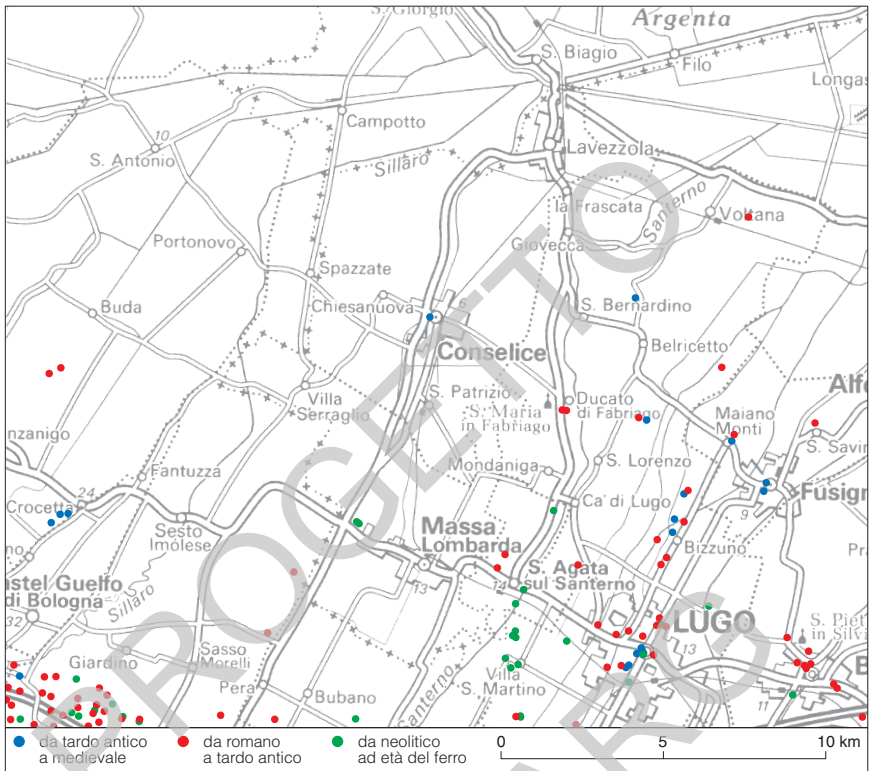


Fig. 6 - Distribuzione in pianta dei siti archeologici utilizzati per la carta geologica (raccolta dati a cura della Sovrainendenza Archeologica dell'Emilia-Romagna). Le classi di datazione sono riportate in modo sintetico, in funzione dell'età delle unità stratigrafiche rappresentate nel Foglio. I punti si riferiscono sia a reperti affioranti sia sepolti.

2. - CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO ED ANALISI STRATIGRAFICA

Lo studio del sottosuolo si è articolato in più fasi di lavoro comprendenti, nell'ordine, l'analisi dei dati geofisici, la realizzazione di una banca dati geognostici, la ricostruzione preliminare dei rapporti stratigrafici e l'esecuzione di nuove indagini appositamente predisposte per l'affinamento del modello geologico.

2.1. - ANALISI DEI DATI GEOFISICI

L'esperienza maturata in questi anni dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli nell'ambito degli studi sulla Pianura Padana ha posto in rilievo il fatto che

la conoscenza dell'assetto strutturale del sottosuolo, anche nelle sue porzioni più profonde, è fondamentale per la ricostruzione dei rapporti latero-verticali della successione di pianura più superficiale. L'andamento delle superfici di correlazione e le variazioni di spessore di questa successione riflettono, infatti, la presenza delle strutture tettoniche sottostanti quali *thrust*, anticlinali e sinclinali.

La definizione dell'assetto strutturale del sottosuolo, anche in termini generali, si rivela necessaria per non incorrere in errori grossolani nella fase di correlazione stratigrafica.

Lo studio del sottosuolo si è basato sulla consultazione delle linee sismiche e dei pozzi per idrocarburi, messi a disposizione da ENI-AGIP ed è stato esteso al di fuori dei limiti del Foglio, con particolare attenzione alla zona del ravennate (fig. 7). L'incrocio tra le linee sismiche ha consentito di evidenziare le geometrie degli elementi strutturali sepolti e di mappare le proiezioni in superficie dei principali assi delle sinclinali e delle anticlinali e dei fronti dei *thrust*. Lo schema

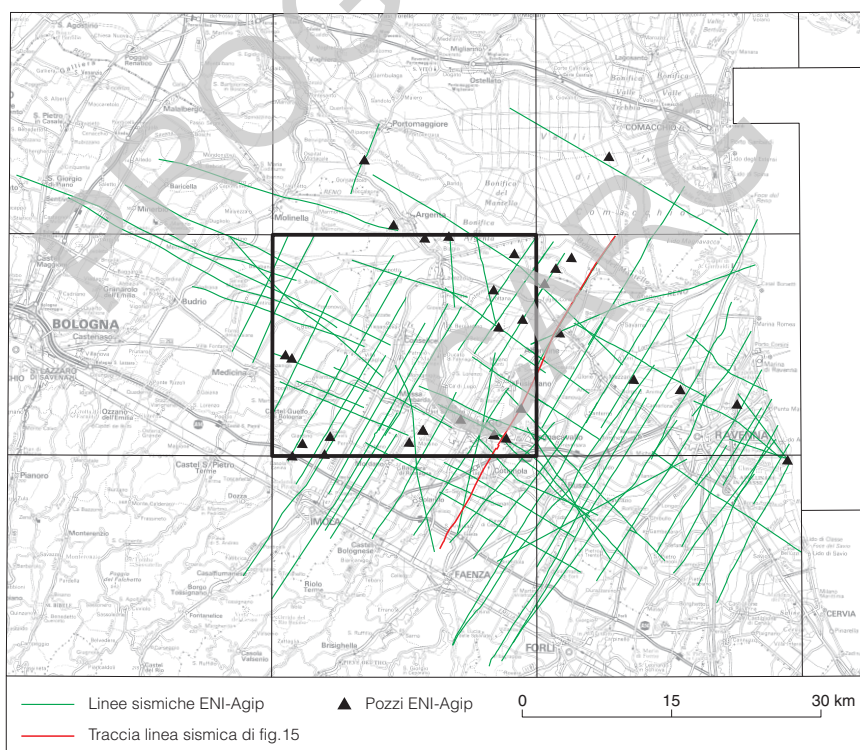


Fig. 7 - Distribuzione delle tracce delle linee sismiche e dei pozzi per idrocarburi ENI-AGIP, utilizzati per lo studio del sottosuolo.

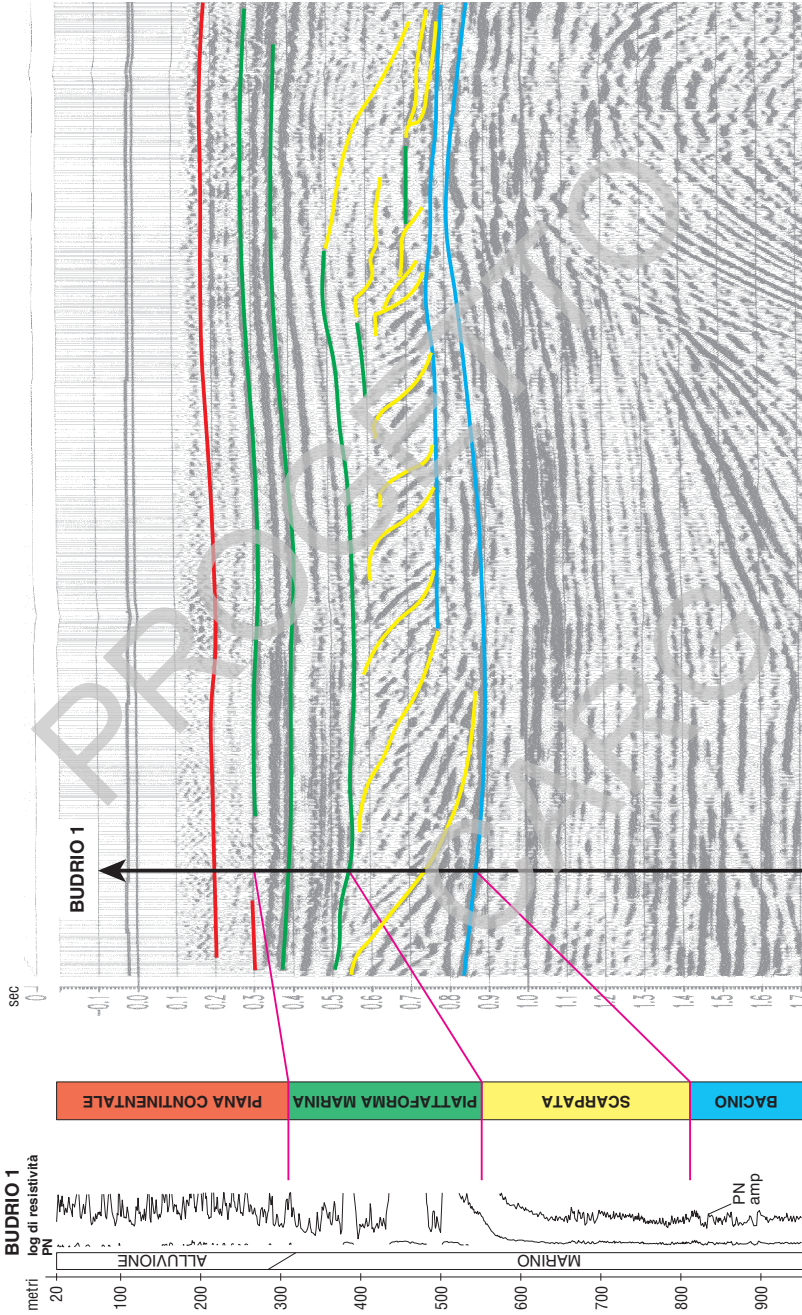


Fig. 8 - Esempio di interpretazione di geometrie dei riflettori, facies sismiche e log di resistività in pozzo, nei depositi quaternari della pianura padana. Dati autorizzati per la divulgazione ENI-AGIP.

strutturale così elaborato è stato in parte integrato con la Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo della REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002).

Il riconoscimento di alcuni riflettori presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo e particolarmente marcati a scala regionale (base AES e base AEI, si veda "V - Stratigrafia") e la loro cartografia diviene cruciale per definire le geometrie in cui sono confinati i corpi litologici e le unità stratigrafiche nelle porzioni più profonde della successione investigata, raggiunte solo marginalmente dalle prove geognostiche puntuali, quali sondaggi e pozzi. Il confronto tra i dati dei pozzi per idrocarburi e le immagini sismiche, di cui è illustrato un esempio in figura 8, ha consentito inoltre di interpretare sommariamente le facies sismiche osservate e di acquisire un quadro regionale sull'evoluzione stratigrafica e strutturale della Pianura Padana.

2.2. - REALIZZAZIONE DELLA BANCA DATI GEOGNOSTICI

Alla base della cartografia geologica di sottosuolo è posta la creazione di una Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna che consiste in un archivio organizzato e georeferenziato di informazioni stratigrafiche relative a carotaggi, penetrometrie e pozzi per acqua provenienti da enti pubblici e privati (fig. 9 e tab. 1). Tale banca dati è illustrata nel dettaglio nelle note illustrative dei diversi Fogli già realizzati ed in particolare in CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002), a cui si rimanda per ogni precisazione. Per quanto riguarda il Foglio 222 la densità dei dati geognostici disponibili nell'area del Foglio 222 è di 2,3 dati per km². Come si evince dalla figura 9, la densità delle informazioni è maggiore in prossimità dei principali centri urbani (es. Lugo) ed è inferiore nelle circostanti aree agricole (ad es. nel settore nord-occidentale).

2.3. - LA RICOSTRUZIONE PRELIMINARE DEI RAPPORTI STRATIGRAFICI

La ricostruzione preliminare dei rapporti stratigrafici del sottosuolo si è basata sullo studio di una rete di 37 sezioni geologiche orientate parallelamente e perpendicolarmente al margine appenninico ed alle strutture sepolte e costruite con tutti i dati geognostici disponibili, con particolare attenzione per i più profondi e/o dettagliati (fig. 9). In particolare sono state costruite 9 sezioni profonde, delle quali 2 allegate alla Carta di Sottosuolo, e rese alla scala 1:100.000 con esagerazione verticale 25x, e 28 sezioni superficiali, delle quali 3 allegate alla Carta di Sottosuolo e rese alla scala 1:50.000 con esagerazione verticale 50x. Le sezioni geologiche profonde si spingono ad una profondità massima di circa 400 m e forniscono informazioni riguardo le geometrie e l'organizzazione stratigrafica della successione a scala regionale; la maglia del reticolo delle sezioni profonde è compresa tra 2 e 10 km. Le sezioni superficiali si spingono

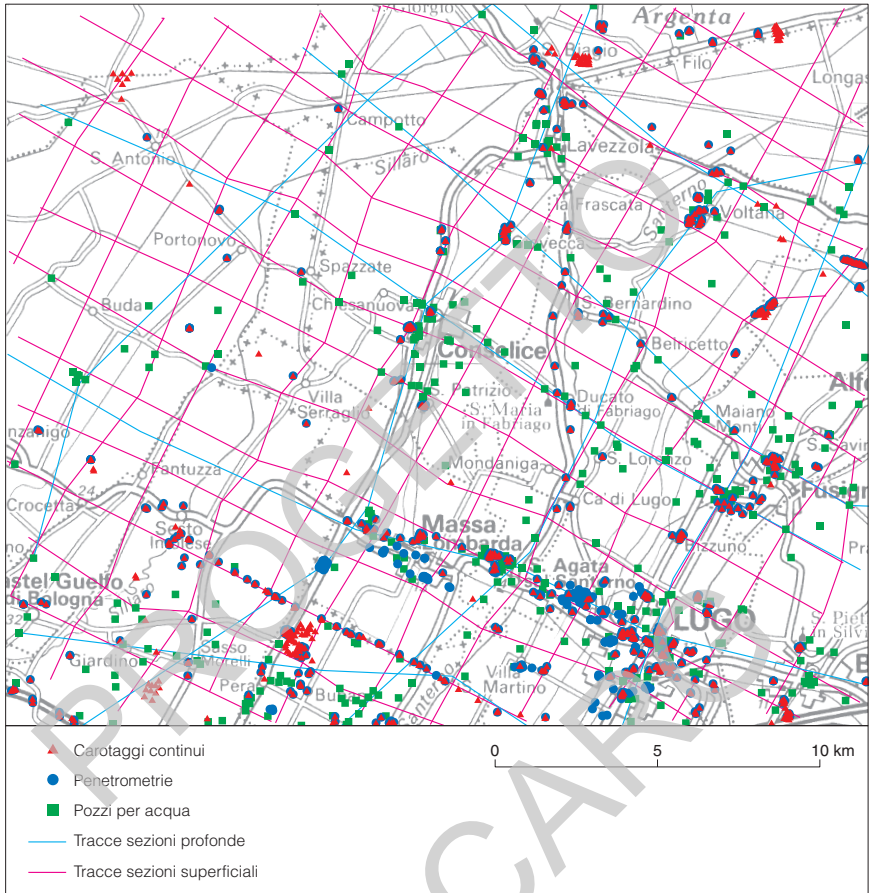


Fig. 9 - Distribuzione in pianta delle indagini geognostiche raccolte nella banca dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ed utilizzate per la cartografia geologica del sottosuolo; tracce di tutte le sezioni geologiche costruite per la ricostruzione tridimensionale dei corpi e delle unità da cui sono tratte le 5 sezioni del Foglio Allegato.

ad una profondità massima di circa 70 m e forniscono maggiori dettagli sulla distribuzione degli ambienti deposizionali dell'intervallo stratigrafico olocenico; la maglia del reticolo delle sezioni superficiali è compresa tra 1 e 3 km.

Le superfici di correlazione sono state tracciate sulla base di criteri geometrici e litologici, guidati dall'individuazione di orizzonti guida, quali ad esempio corpi ghiaiosi di conoide alluvionale, intervalli fini di piana alluvionale ben sviluppati oppure orizzonti di torba e di argilla organica palustri e lagunari ben riconoscibili e lateralmente estesi.

Tab. 1 - Banca dati geognostici del Foglio 222; i principali enti fornitori dei dati sono i Comuni, le Province, la Regione, il consorzio del Canale Emiliano-Romagnolo, i consorzi di bonifica, le Ferrovie dello Stato, l'Azienda Multiservizi Intercomunale di Imola ed alcune industrie locali.

Tipo di dato	Numero di dati	% sul totale (1368)	Prof. media	Prof. minima	Prof. massima
Prove penetrometriche statiche	479	35.1	12.7	5	38
Prove penetrometriche dinamiche	112	8.2	6.3	1.5	10
Sondaggi a carotaggio continuo	208	15.2	15.3	2	400
Pozzi per acqua	346	25.3	124.4	5	522
Sondaggi esaminati dai rilevatori (progetto CARG)	17	1.2	48	24.6	157
Prove pentrometriche con punta elettrica	8	0.6	30.6	10.2	51.9
Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (progetto CARG)	190	14	31.5	10.5	37
Altre indagini	8	0.6			

2.4. - ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO

Le nuove indagini di sottosuolo appositamente eseguite sono i sondaggi a carotaggio continuo e le prove penetrometriche che hanno consentito di definire ed affinare il modello geologico del sottosuolo elaborato dalla banca dati. I sondaggi a carotaggio continuo rappresentano l'unico strumento di osservazione diretta dei depositi di sottosuolo e sono quindi di fondamentale importanza per la loro caratterizzazione litologica e per il riconoscimento degli ambienti deposizionali attraverso l'analisi di facies (fig. 10). Essi inoltre permettono il campionamento dei terreni per analisi specifiche che sono strumenti indispensabili per la verifica delle correlazioni stratigrafiche proposte. In particolare, per il rilevamento del Foglio sono state eseguite datazioni ^{14}C (tab. 2), analisi paleontologiche, palinologiche e petrografiche (si veda Appendice 2), nonché prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati. Grazie alle numerose informazioni che si possono ottenere dai sondaggi a carotaggio continuo, è stato inoltre possibile utilizzarli per l'interpretazione in chiave stratigrafico-sedimentologica dei log elettrici dei pozzi per idrocarburi e dei log delle prove penetrometriche. La figura 11 mostra un esempio di dati geognostici (sondaggi a carotaggio continuo, log elettrici derivanti dai pozzi per idrocarburi AGIP e pozzi per acqua) utilizzati per la costruzione delle sezioni geologiche che mette in luce l'importanza che i sondaggi a carotaggio continuo rivestono nel processo di confronto incrociato tra questi dati disomogenei per raggiungere una buona attendibilità nella correlazione stratigrafica.

Per la realizzazione di questo Foglio nell'ambito del progetto CARG sono stati eseguiti 17 sondaggi a carotaggio continuo, dal S2 al S18, mentre il S1 è stato eseguito precedentemente per la realizzazione dei Fogli 204 e 205. Fra

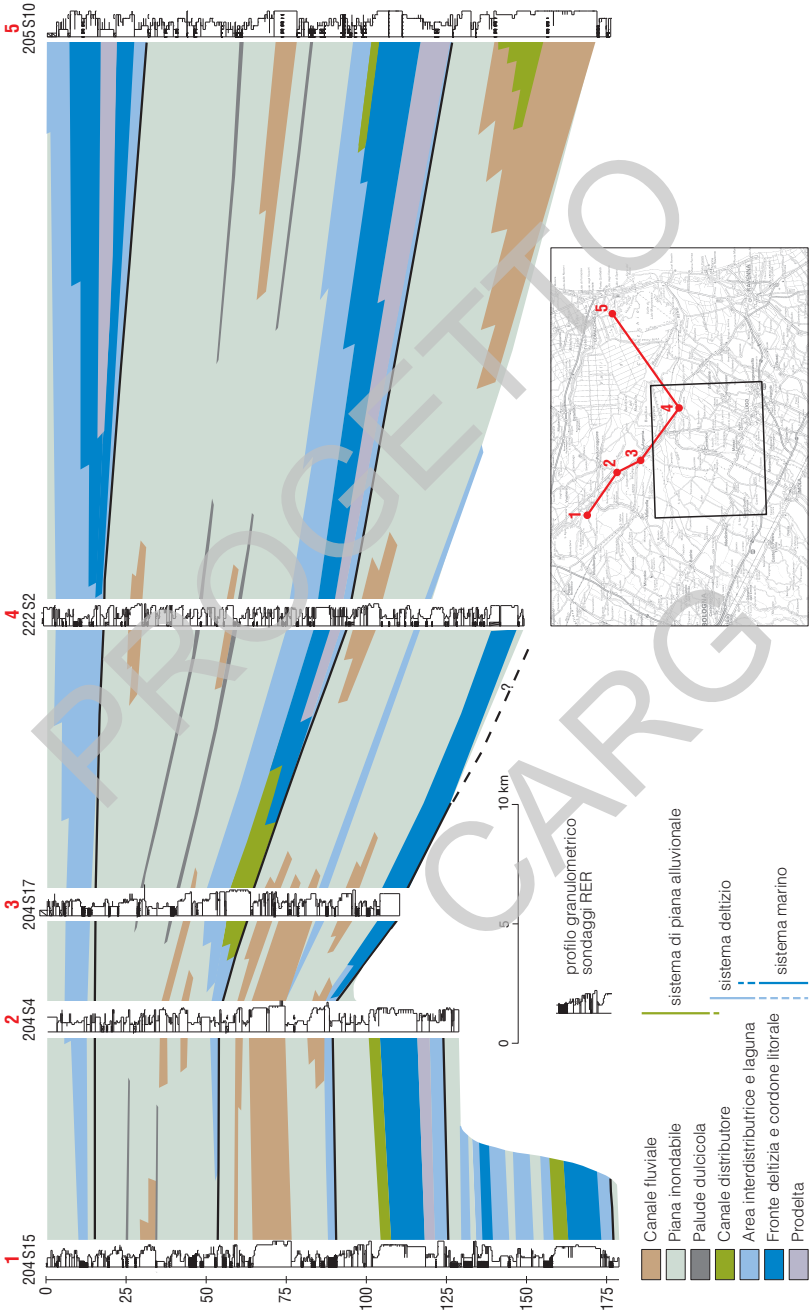


Fig. 10 - Correlazione stratigrafica tra sondaggi eseguiti dalla regione Emilia-Romagna nell'ambito del progetto CARG e ricostruzione degli ambienti deposizionali attraverso l'analisi di facies.

Tab. 2 - Risultati ottenuti dalle analisi radiometriche (metodo ^{14}C) su campioni di materiale organico prelevati da sondaggi del progetto CARG. L'ubicazione dei sondaggi è illustrata in figura 13 e la stratigrafia dei sondaggi CARG in Appendice I. La profondità dei campioni è riferita al piano campagna. L'età è espressa in anni e non è calibrata. (*) Datazioni a carico del I.G.M. del C.N.R. di Bologna.

Codice banca dati	Quota sondag.	Prof. camp.	Unità	Età ^{14}C	Range	Tecnica di datazione	Tipo di materiale	Laboratorio
222-S2	4	7	AES8	340	60	Radiometrica	torba	Beta Analytic (Miami)
222-S2	4	17	AES8	6000	60	Radiometrica	torba	Beta Analytic (Miami)
222-S2	4	20.9	AES8	7420	60	Radiometrica	sed. organico	Beta Analytic (Miami)
222-S2	4	26.2	AES7	19770	150	AMS	torba	Beta Analytic (Miami)
222-S4	-1	8.3	AES8	6260	130	Radiometrica	suolo organico	ENEA (Bologna)
222-S4	-1	24.4	AES7	23720	600	Radiometrica	sed. organico	ENEA (Bologna)
222-S6	5	3.9	AES8	2100	70	Radiometrica	sed. organico	Beta Analytic (Miami)
222-S6	5	18.8	AES8	11560	80	Radiometrica	sed. organico	Beta Analytic (Miami)
222-S6	5	26.8	AES7	18000	150	AMS	torba	Beta Analytic (Miami)
222-S10	17	12.5	AES8	14280	140	Radiometrica	sed. organico	Beta Analytic (Miami)
222-S10	17	21.2	AES7	32550	600	AMS	torba	Beta Analytic (Miami)
222-S10	17	35.5	AES7	>44550		AMS	legno	Beta Analytic (Miami)
222-S17(*)	5.3	5	AES8	2635	80	Radiometrica	sed. organico	L.O.D.Y.C. (Parigi)

questi 15 hanno profondità comprese fra 25 e 50 m e sono stati utilizzati specificamente per analizzare i primi depositi del sottosuolo (riferibili prevalentemente alle unità AES₈ e AES₇, si veda il Cap. V), mentre 2 sondaggi hanno profondità variabili da 70 a 160 m e sono stati progettati per caratterizzare anche gli intervalli più profondi della successione sedimentaria. Per avere un quadro geologico più completo sono stati considerati anche i sondaggi più significativi delle aree limitrofe ed in particolare i Fogli 204, 205, 223 e 239.

I carotaggi, per quanto determinanti per la ricostruzione del quadro stratigrafico, sono estremamente costosi e possono essere effettuati solo in numero limitato, rendendo talora difficile l'extrapolazione su base areale del modello geologico ricostruito. Per questo motivo sono state realizzate *ad hoc* per il progetto CARG 190 prove penetrometriche (CPT) a spaziatura relativamente regolare e sull'intero areale del Foglio. Le CPT per la quasi totalità sono state eseguite con punta elettrica e piezocono (CPTU) ed hanno raggiunto una profondità massima di c.a. 35 metri. Le prove penetrometriche sono state utilizzate per interpretare le litologie dei terreni attraversati sulla base dei risultati di diversi studi precedenti (AMOROSI & MARCHI, 1999 e CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002) e con l'ausilio di alcune tarature fatte in questo lavoro tramite i sondaggi a carotaggio continuo ad esse adiacenti. In figura 12 sono mostrati due esempi di confronto tra sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche elettriche con piezocono (in figura è riportato il tracciato della resistenza alla punta) eseguiti ad una distanza inferiore di 20 m uno dall'altra.

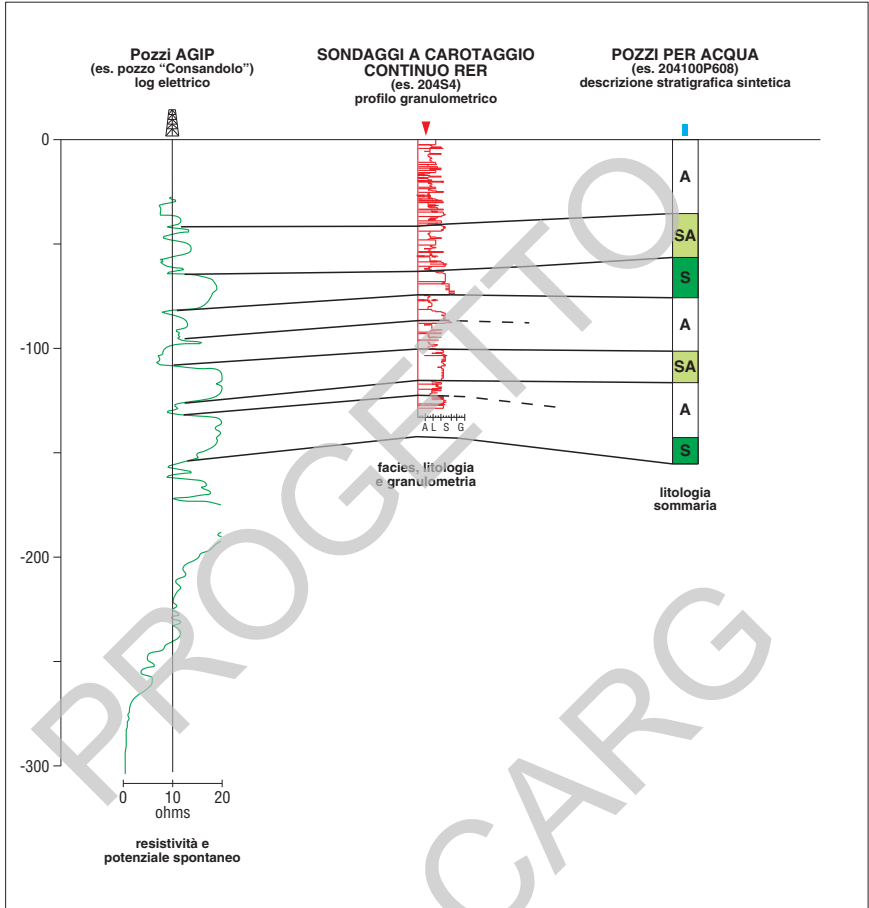


Fig. 11 - Esempio di correlazione tra dati geognostici disomogenei: log elettrico di pozzo per idrocarburi, sondaggio a carotaggio continuo e pozzo per acqua. Sono indicati i parametri associati a ciascun tipo di prova e le possibili correlazioni.

La figura 13 mostra la localizzazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche eseguiti appositamente per la realizzazione del Foglio e riportati negli elaborati della Carta Geologica, nonché dei sondaggi dei fogli limitrofi la cui stratigrafia è stata oggetto di studio durante i rilevamenti.

Nell'Appendice 1 sono riportate le descrizioni dei sondaggi con la relativa interpretazione stratigrafico-sedimentologica adottata e nelle Appendici 2, 3 e 4 sono illustrati rispettivamente i risultati delle analisi micropaleontologiche, palinologiche e petrografiche relative al sondaggio profondo 222-S2.

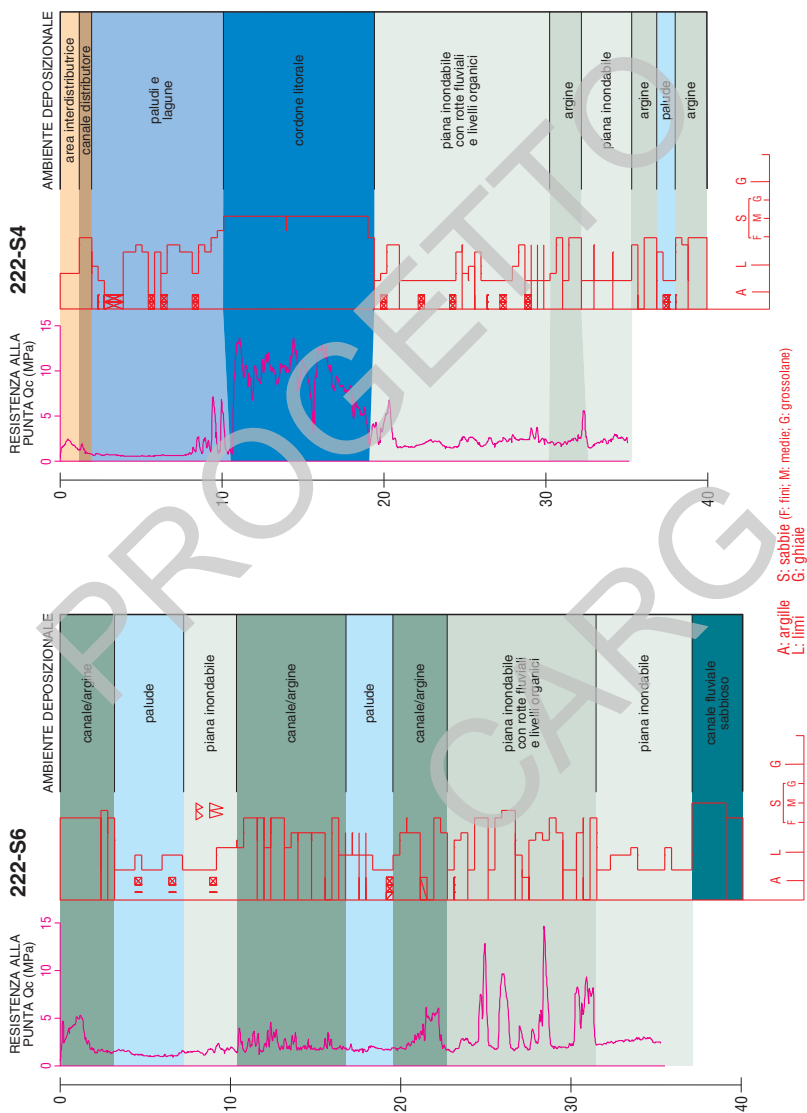


Fig. 12 - Confronto tra prove penetrometriche CPTU (log di resistenza alla punta) e profili granulometrici (con relativa interpretazione ambientale) ricavati dai sondaggi a carotaggio continuo.

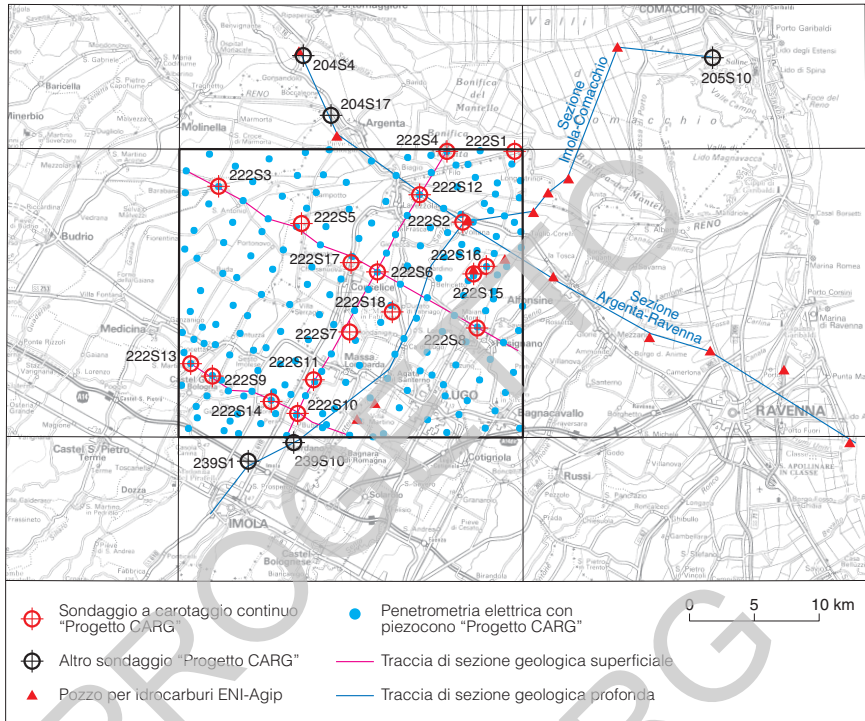


Fig. 13 - Distribuzione delle nuove prove geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo e prove CPTU) eseguite ad hoc per il rilevamento del Foglio 222 e traccia delle sezioni geologiche selezionate per la rappresentazione del sottosuolo nel Foglio Allegato. Sono indicati anche i pozzi ENI-AGIP e i sondaggi utilizzati dei fogli limitrofi.

V - STRATIGRAFIA

1. - DEFINIZIONE DEL CRITERIO STRATIGRAFICO UTILIZZATO

La successione sedimentaria che è stata oggetto di studio nel rilevamento del Foglio 222 fa parte della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. In particolare, sono state analizzate in maggior dettaglio la successione del Pleistocene medio e superiore e quella dell'Olocene. Nel Foglio 222 affiorano unicamente i depositi olocenici e quindi la successione pleistocenica è stata investigata attraverso lo studio del sottosuolo.

I criteri utilizzati per l'analisi stratigrafica di questa successione sono quelli propri della stratigrafia fisica, in accordo con quanto definito dalle linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992) e le successive integrazioni coerentemente con quanto effettuato nei Fogli limitrofi.

La stratigrafia fisica, nel corso degli ultimi venti anni, ha posto l'accento sull'identificazione di pacchi di strati delimitati da superfici-tempo e sulle relazioni genetiche tra sistemi deposizionali coevi e ha favorito il progressivo utilizzo di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units e Unità allostratigrafiche*, NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 1983, POAG & WARD, 1993; SALVADOR, 1994) o comunque legate a cicli di eventi, come le unità stratigrafico-deposizionali (VAIL, 1987; POSAMENTIER *et alii*, 1988; GALLOWAY, 1989). Queste unità presentano un forte connotato operativo (MUTTI *et alii*, 1994) e trovano un impiego naturale nella cartografia geologica dei depositi quaternari. In particolare nei depositi continentali l'impiego delle UBSU, definite come unità limitate alla base ed al tetto da superfici di discontinuità dimostrabili, significative e specificamente designate (*angular unconformities, disconformities, ecc.*), di estensione prefe-

ribilmente regionale o interregionale, trova la sua applicazione ottimale nella rappresentazione cartografica di depositi di terrazzo affioranti nei settori intravallivi della pianura (cfr. BLUM, 1993) che, per loro natura, sono compresi tra superfici di discontinuità corrispondenti a scarpate di erosione fluviale ed a suoli. Esempi di potenziali UBSU al margine appenninico emiliano-romagnolo sono i raggruppamenti di terrazzi identificati da FARABEGOLI & ONOREVOLI (1989), AMOROSI *et alii* (1996), BASSETTI & SARTI (1997), SARTI *et alii* (1997), mentre nelle aree della pianura alluvionale sono stati utilizzati come potenziali limiti di UBSU i suoli, sia affioranti sia sepolti, poiché materializzano, per la loro stessa natura, delle superfici di discontinuità non deposizionali (PRETI & GUERMANDI, 1991).

L'individuazione di limiti inconformi nei depositi di sottosuolo della Pianura Padana risulta tuttavia non sempre agevole. Ciò principalmente a causa di più fattori: l'assenza di linee sismiche ad alta risoluzione che permettano di individuare la geometria della stratificazione di questi depositi; la difficoltà di tracciare tale superficie a causa di un blando od assente contrasto di facies; il progressivo passaggio delle superfici di discontinuità alle relative superfici di continuità stratigrafica. Un tentativo in tal senso è stato operato alla scala di tutta la pianura emiliano-romagnola mediante l'analisi dei dati di pozzo e l'interpretazione della sismica industriale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Lavori di maggior dettaglio, come quelli operati per la realizzazione del presente Foglio, basati su correlazione di dati di pozzi e di sondaggi appositamente eseguiti e supportati da approfonditi studi sedimentologici e micropaleontologici su foraminiferi, ostracodi e pollini (es. AMOROSI *et alii*, 1999b; 2004; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002, Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005), permettono di migliorare ulteriormente il quadro stratigrafico e concorrono ad individuare le principali superfici di discontinuità stratigrafica e la loro correlazione a scala di bacino.

La successione del Foglio 222 è stata quindi suddivisa in UBSU ma per poter essere applicate interamente ed ubiquitariamente al contesto geologico del sottosuolo della Pianura Padana, queste unità sono state interpretate in chiave flessibile ovvero, nella realizzazione del Foglio, sono state cartografate anche dove le discontinuità erano localmente non più perfettamente riconoscibili e verificabili lungo il tracciato delle superfici ad esse correlate. Si ritiene quindi che le unità utilizzate soddisfino complessivamente e regionalmente il requisito di base inconforme (necessario per l'attribuzione alla categoria delle UBSU) sebbene non si escluda che tali superfici possano localmente passare a superfici di continuità stratigrafica.

La nomenclatura stratigrafica utilizzata nelle presenti note si basa largamente su quanto riportato in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) ed i depositi studiati sono stati raggruppati nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, suddiviso nel Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) (fig. 3). All'interno di quest'ultimo sono state distinte unità di rango inferiore (subsistemi) corrispondenti nei settori intravallivi (affioranti nel Foglio 239 Faenza, in stampa) a depositi alluvionali di un

singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi e nel sottosuolo della pianura a cicli sedimentari, generalmente *coarsening-upward*, di tipo trasgressivo-regressivo.

2. - ASSETTO STRATIGRAFICO - STRUTTURALE

Lo schema tettonico elaborato per il rilevamento del Foglio 222 (fig. 14) ed esteso ai fogli limitrofi per un quadro regionale più ampio, mostra che il sottosuolo è caratterizzato da un'ampia sinclinale il cui asse è orientato circa NO-SE, lungo l'allineamento Fusignano - Conselice, ed immergente blandamente verso SE (fig. 15). La sinclinale è limitata verso sud da una fascia di anticlinali e fronti di *thrust* allineati fra Bagnacavallo - Lugo - Massa Lombarda - Buda e, a nord, da una culminazione strutturale con un asse orientato secondo l'allineamento Longastrino - Argenta - Consandolo. Tra i *thrust* di Bagnacavallo - Lugo - Massa Lombarda - Buda e il *thrust* del fronte pedecollinare appenninico, che in questo settore corre tra Faenza e Imola, si sviluppa un'area strutturalmente articolata e la sinclinale compresa tra le due culminazioni risulta variamente segmentata e deformata. Nel settore centrale, immediatamente ad est di Alfonsine e Bagnacavallo, si osservano importanti discontinuità trasversali all'andamento generale dei lineamenti tettonici, imputate alla presenza delle rampe laterali dei *thrust* e/o di *tear faults*.

Dalla figura 15 si evidenzia che la prima importante superficie di *onlap* al tetto delle strutture tettoniche che sutura la fase parossistica che le ha generate corrisponde approssimativamente alla base del Pliocene medio (PIERI & GROPPI, 1981), raggiunge la profondità di circa 3000 m nel nucleo della sinclinale per poi risalire a profondità di circa 1000 m nelle zone di alto strutturale. E' però importante notare che anche le geometrie della successione quaternaria riflettono in buona parte l'andamento delle strutture plioceniche ed in particolare si sottolinea:

- 1) una marcata risalita dei riflettori sismici verso il margine appenninico;
- 2) l'espansione stratigrafica della successione del Quaternario dal margine appenninico verso la pianura aperta e l'assottigliamento della successione in corrispondenza degli alti strutturali di Cotignola-Bagnacavallo e di Alfonsine-Longastrino;
- 3) l'individuazione di più aree depocentrali: un'area limitata e discontinua a *tergo* del *thrust* meridionale, in corrispondenza di Granarolo, un'area ampia compresa tra i due *thrust*, in corrispondenza di Fusignano ed un'area, solo parzialmente intercettata, a fronte del *thrust* settentrionale in corrispondenza del margine delle Valli di Comacchio.

Per quanto riguarda la successione del Pleistocene medio e superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo), l'analisi dei dati sismici è stata più approfondita ed ha consentito la stesura di due mappe che rappresentano le isobate di due riflettori particolarmente marcati, interpretati come i limiti basali del Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore - AEI e del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore.

riore - AES (figg. 16 e 17). Si osservi come la geometria di tali superfici rifletta l'andamento delle strutture plio-pleistoceniche più profonde; in particolare vi è un'inflessione delle due superfici in corrispondenza dell'asse della sinclinale che costituisce il depocentro del bacino di sedimentazione ed una risalita delle stesse a quote più superficiali in corrispondenza degli alti strutturali.

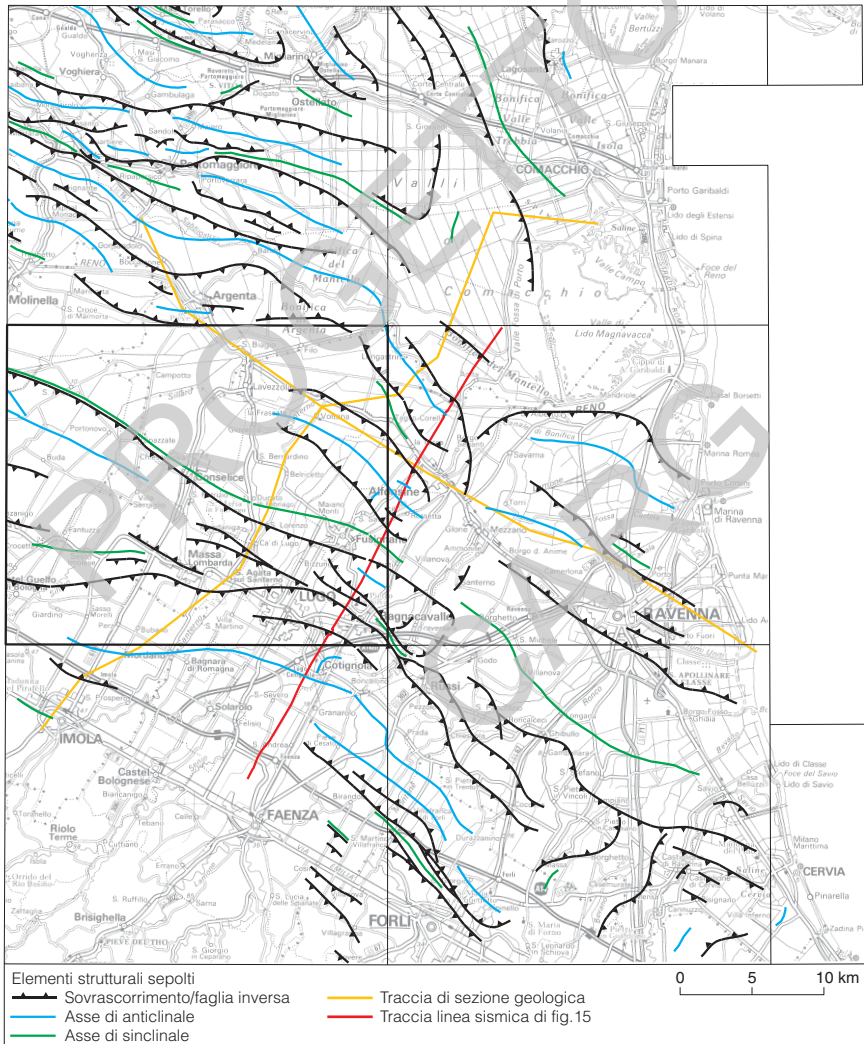


Fig. 14 - Schema dei principali elementi strutturali plio-pleistocenici sepolti, traccia delle sezioni geologiche profonde riportate nel Foglio Allegato e traccia della linea sismica di figura 15.

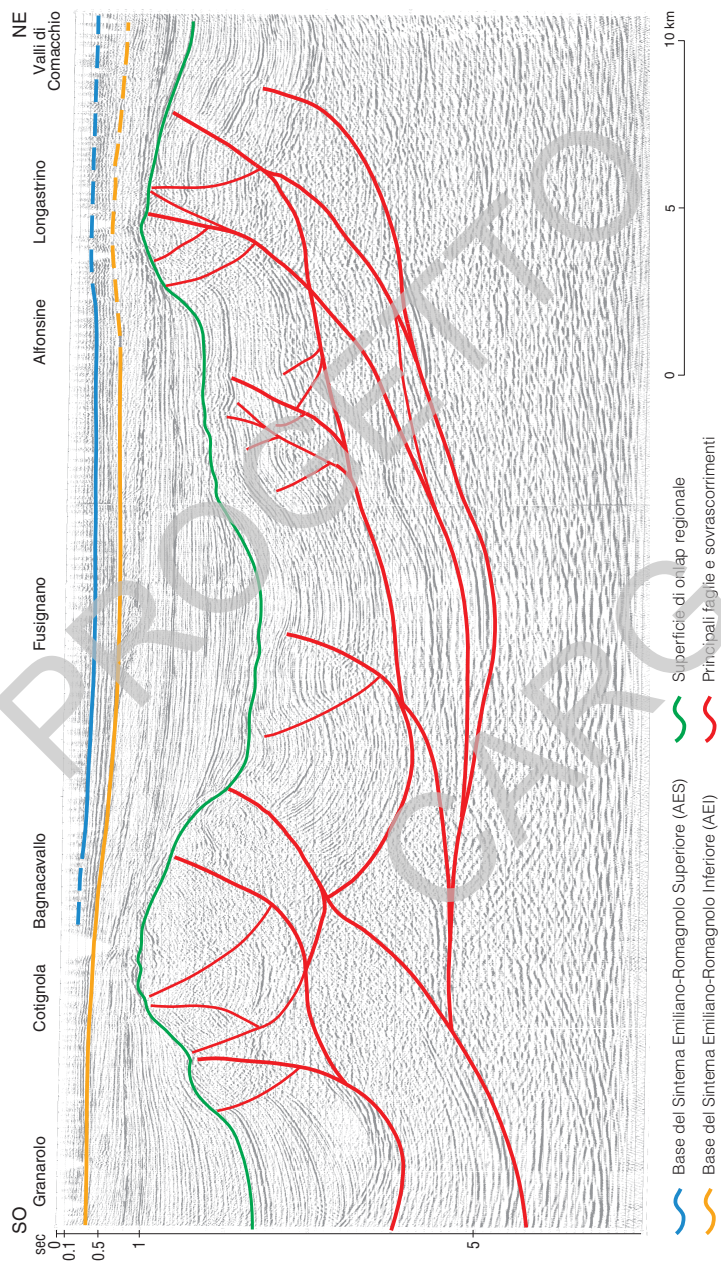
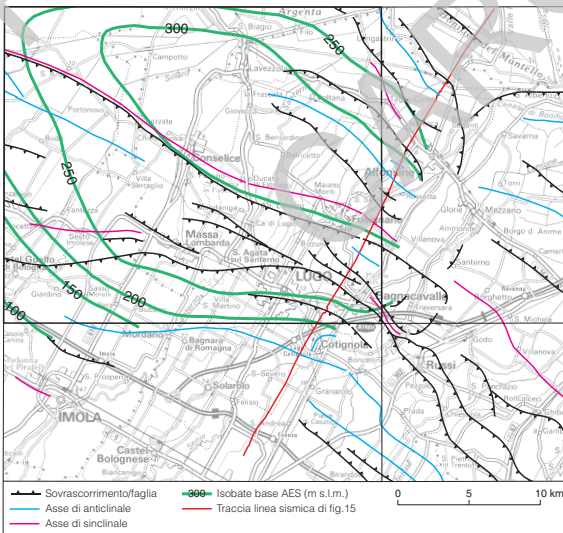
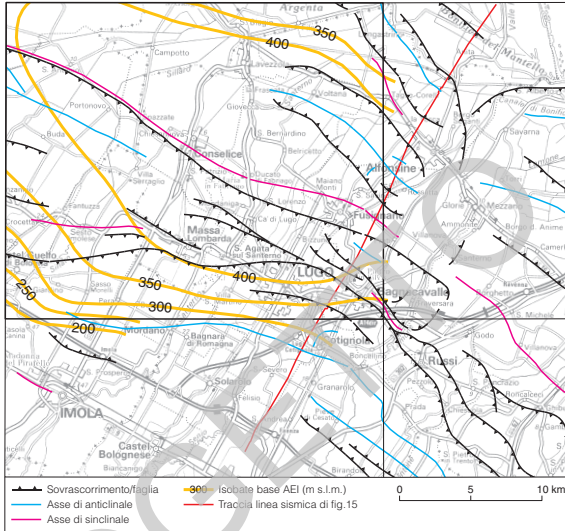


Fig. 15 - Linea sismica interpretata che mostra le principali caratteristiche del sottosuolo del Foglio 222 e delle aree limitrofe. La superficie di onlap regionale della base del Pliocene medio (linea verde) evidenzia la geometria dei bacini sedimentari plio-pleistocenici. Dati autorizzati per la divulgazione ENI-AGIP.



3. - LE UNITÀ PIÙ ANTICHE DEL SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Le unità più antiche del Supersintema Emiliano-Romagnolo non affiorano nel Foglio 222 e sono state descritte solo nella parte meridionale della sezione geologica profonda Imola-Comacchio del Foglio Allegato riportata in figura 18.

La sezione è stata costruita a partire dal margine appenninico nel Foglio 239 dove tali unità sono raggiunte da numerosi pozzi per acqua e da un sondaggio a carotaggio continuo profondo CARG (239-S1) e sono prossime a quelle affioranti (valle del F. Santerno). Il substrato marino mio-plio-pleistocenico è costituito al tetto dalla Formazione delle Argille Azzurre di ambiente di piattaforma marina.

Queste passano, con contatto erosivo e discordante, alle Sabbie di Imola (IMO): sabbie ed arenarie poco cementate, fini, finissime e subordinatamente medie e grossolane, in strati amalgamati con livelli di ghiaie fini e sporadici intercalazioni pelitiche (ambiente di spiaggia e delta conoide). Il contenuto faunistico di IMO indica un'età compresa tra 800.000 e 650.000 anni (AMOROSI *et alii*, 1998a; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

4. - SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di RICCI LUCCHI *et alii*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area in esame, includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi nell'area del Foglio 239 dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene medio (IMO) e mio-pliocenici. Questa discordanza angolare si realizza anche nel sottosuolo più prossimo al margine appenninico ed è espressa dal contatto netto fra i depositi fluvio-deltizi alla base del supersintema e i depositi sabbioso-ghiaiosi litorali e di delta-conoide riferiti al tetto di IMO. Verso NE, la superficie di discordanza si immerge in profondità e non è più stata tracciata.

Il limite superiore coincide col piano topografico. L'età dell'unità è Pleistocene medio - attuale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Nella CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 Fogli 256 Rimini, 199 Parma sud, 219 Sassuolo, 240-241 Forlì-Cervia (2005), nonché in altri fogli in stampa del margine appenninico (Fogli 180, 181, 220, 239 e 255) questa unità comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) che sono stati riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo (AMOROSI & FARINA, 1995 e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Nel Foglio 222 e 239 affiorano solo i de-

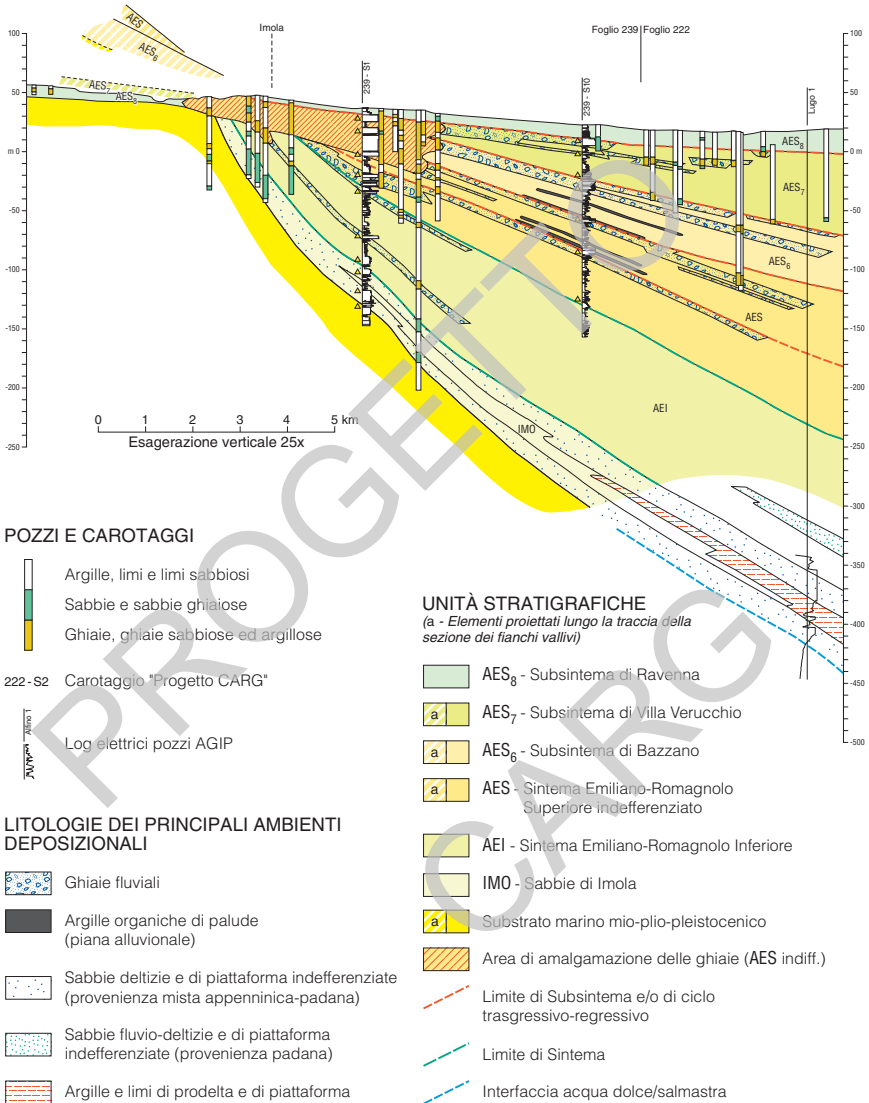


Fig. 18 - Particolare della sezione geologica profonda Imola-Comacchio del Foglio Allegato (porzione meridionale) che ritrae l'assetto stratigrafico del sottosuolo del settore della valle del F. Santerno. Le sezioni integrano i dati di superficie (affioramenti dei settori intravallivi e del margine appenninico) e di sottosuolo (stratigrafie delle indagini geognostiche, linee sismiche e stratigrafie di pozzi AGIP) e descrivono l'architettura stratigrafica del Superistema Emiliano-Romagnolo, i suoi rapporti con le Sabbie di Imola e il "substrato" marino mio-plio-pleistocenico e le geometrie dei principali corpi geologici. L'esagerazione verticale è di 25 volte; la traccia della sezione completa è riportata in figura 13.

positi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati solo nel sottosuolo della pianura.

Per migliorare la ricostruzione delle geometrie e del significato stratigrafico dei principali corpi sabbiosi del Supersistema Emiliano-Romagnolo (la cui analisi stratigrafica è stata estesa ad un ampio settore comprendente i Fogli 239, 223, 204 e 205) è stato fatto il tentativo di distinguere l'area d'origine ("provenienza") dei sedimenti in essi contenuti in accordo con quanto fatto nell'interpretazione dei fogli limitrofi (es. CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005). I corpi sabbiosi lateralmente più continui (scala delle decine di km) e spessi (10-50 m), di granulometria media e grossolana omogenea sulle lunghe distanze, di geometria tabulare e con tendenza a chiudersi verso il margine appenninico sono stati attribuiti alla provenienza padana; i corpi sabbiosi più discontinui e sottili, di granulometria più variabile e mediamente intorno alle classi delle sabbie medie e fini, con geometrie più variabili e con la tendenza a saldarsi verso il margine appenninico con i corpi ghiaiosi di conoide sono stati attribuiti alla provenienza appenninica. Tale distinzione è stata operata tramite: a) la facies elettrica dei log AGIP, b) la facies osservata nei carotaggi e l'analisi petrografica qualitativa di terreno eseguita sulle carote, c) le geometrie di correlazione dei corpi. La taratura dell'interpretazione di provenienza è stata effettuata tramite l'analisi petrografica qualitativa e quantitativa al microscopio di diversi campioni di sabbie prelevati dai sondaggi (Appendice 4).

Nelle sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato alla Carta Geologica di superficie si osserva che il supersistema si caratterizza, nel suo complesso, per la progradazione dei sistemi deposizionali alluvionali da SO verso NE ed il conseguente arretramento dei depositi fluvio-deltizi e costieri. Tale progradazione mostra due fasi di sviluppo distinte a cui sono stati attribuiti, rispettivamente, i due sistemi in cui il supersistema è stato suddiviso: AEI ed AES. Il primo è dominato da facies fluvio-deltizie per lo più costituiti da sabbie di provenienza padana, mentre nel secondo si sviluppano prevalentemente le facies francamente fluviali di conoide e di piana alluvionale legate a sistemi di provenienza appenninica. Questa progradazione è ben visibile nella sequenza di facies del sondaggio 239-S1 che attraversa tutti i depositi del supersistema e IMO.

L'organizzazione spaziale dei depositi viene interpretata come il prodotto del riempimento del bacino Padano che avviene in concomitanza al sollevamento del margine appenninico con il conseguente avanzamento verso NE dei sistemi deposizionali appenninici.

4.1. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI) (SOLO SOTTOSUOLO)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) costituisce la parte più antica del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Nel Foglio 222 non è presente in affioramento ma è stato individuato nel sottosuolo, sulla base dei dati geognostici (qualche sondaggio e soprattutto diversi log ENI-AGIP) e delle geometrie delle

unità stratigrafiche ricostruite attraverso le sezioni geologiche.

Il limite inferiore coincide con quello del supersintema ed è stato descritto nel paragrafo precedente. Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di depositi fini (prevalentemente argille e limi) e depositi grossolani (prevalentemente sabbie e subordinatamente ghiaie, presso il margine meridionale del bacino) riferibili ad associazioni di facies di piana alluvionale non drenata e soprattutto di piana fluvio-deltizia e costiera (sondaggi 239-S1 e 239-S10). Solo il settore più prossimo al margine della catena (Foglio 239) è dominato da sistemi alimentati dai fiumi appenninici mentre quello pertinente al Foglio 222 è dominato prevalentemente dai sistemi alimentati dal Fiume Po. In particolare, nelle zone depocentrali del bacino, si riconoscono tre cicli deposizionali distinti, attribuibili a sequenze di facies fluvio-deltizie e di piattaforma del sistema padano (ben evidenti nei log ENI-AGIP Argenta, Alfonsine 18, Valledane 1 e Ravenna 32).

Lo spessore dell'unità aumenta complessivamente verso N e NE fino a raggiungere c.a. 140 m nell'area depocentrale compresa fra Conselice e Fusignano. L'età dell'unità è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (tra 400-430.000 anni e 650.000 anni, REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

4.2. - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Nel Foglio 222 comprende tutti i depositi continentali affioranti che sono stati attraversati solo parzialmente dal sondaggio 222-S2 (Appendice 1), mentre sono stati attraversati per intero da due sondaggi del Foglio meridionale (239-S1 e 239-S10). La ricostruzione dell'organizzazione dei corpi litologici attribuiti ad AES è illustrata nelle sezioni geologiche profonde e la figura 19 rappresenta la sintesi dell'architettura stratigrafica dell'unità che ne è stata desunta.

In affioramento AES è costituito da depositi di pianura alluvionale ed, in parte, di piana deltizia. Nel sottosuolo sono più abbondanti i depositi di piana costiera. Il limite inferiore del sintema non affiora nel Foglio 222: nei Fogli immediatamente a sud è dato da un contatto erosivo e fortemente discordante sui depositi marini mio-pliocenici dell'Appennino e su IMO e corrisponde a quello dell'intero supersintema. Nel sottosuolo il limite inferiore è chiaramente espresso nel settore meridionale dove è dato da un contatto erosivo e discordante delle ghiaie di conoide alluvionale (AES) su depositi limosi, sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi fluviali e fluvio-deltizi (AEI; si veda in particolare fig. 18). Verso NE tale limite si fa via via meno marcato da un punto di vista litologico, poiché mette a contatto i depositi fluvio-deltizi padani di AES con quelli di AEI ed è riconoscibile solo come superficie di avanzamento verso NE a scala regionale dei sistemi deposizionali più prossimali. Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica.

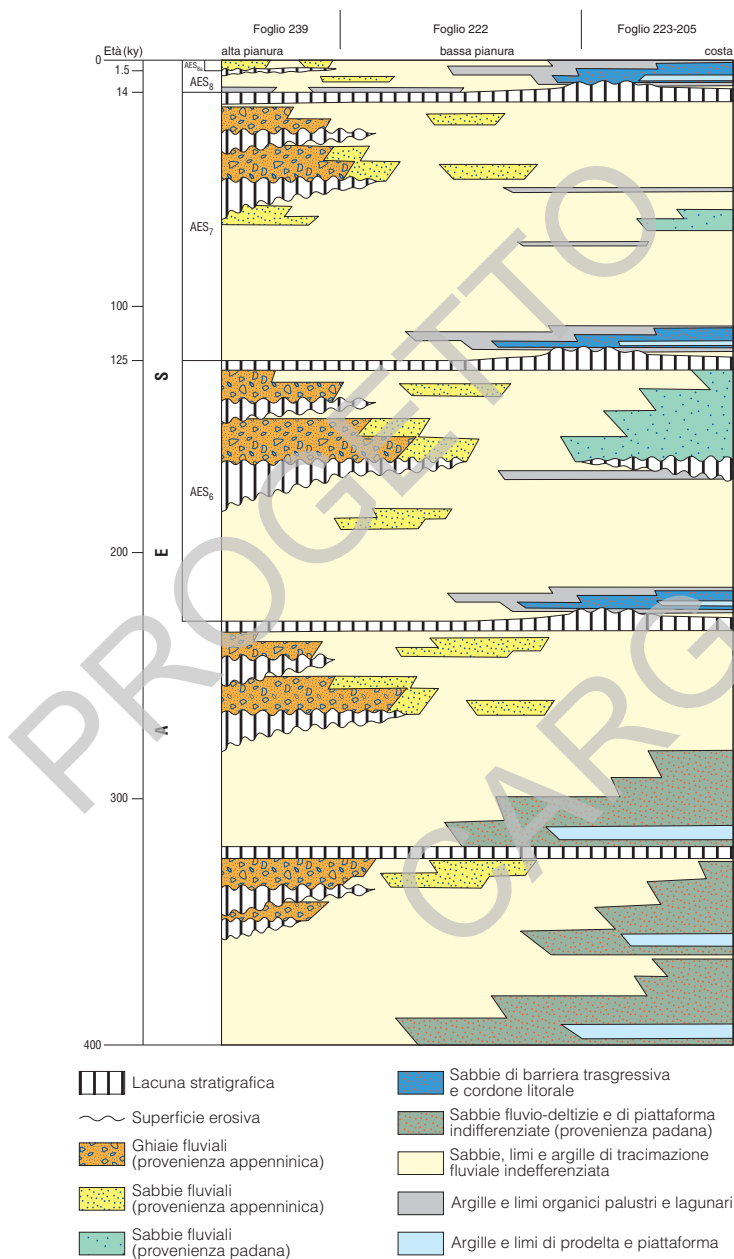


Fig. 19 - Schema cronostratigrafico del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) utilizzato per il Foglio 222 comprendente le relazioni con i fogli limitrofi.

La ciclicità sedimentaria

Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico. I cicli riconoscibili con maggior chiarezza hanno uno spessore di varie decine di metri e sono tipicamente *coarsening-upward* (CU), caratterizzati dall'alternanza di depositi fini, dominati da facies di tracimazione fluviale, e da depositi grossolani, dominati da facies di riempimento di canale fluviale (fig. 18). Nelle zone depocentrali, verso NE, ciascun ciclo raggiunge lo spessore di circa 60-100 m, ed è generalmente organizzato verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU), entrambe caratterizzate da un'evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (T-R). Come esempi di questo tipo di ciclicità nei depositi fluviali relativi ad altri contesti geologici si vedano: SHANLEY & McCABE (1994), OLSEN *et alii* (1995), KHAN *et alii* (1997) ed in particolare BURNS *et alii* (1997) e la sintesi proposta in BLUM & TÖRNQVIST (2000).

La porzione trasgressiva basale di ciascun ciclo è spesso pochi metri ed è caratterizzata dalla frequente presenza di argille ricche in sostanza organica di piana alluvionale e palude passanti, nel settore di NE, ad argille lagunari e a sabbie marine di cordone litorale. Queste poggiano con un contatto generalmente molto spesso brusco sulle ghiaie e sulle sabbie fluviali che costituiscono il tetto del ciclo sottostante. Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta quindi una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana corrispondente, verso mare, ad una fase trasgressiva. Essa ha una espressione fisica evidente ed è riconoscibile nel sottosuolo come un forte contrasto di facies. Le facies trasgressive marino-marginali non sembrano estendersi in AES più a sud dell'allineamento Fusignano-Conselice.

La generalizzata presenza di lacune stratigrafiche di diverse migliaia di anni alla base di tali superfici (con particolare evidenza nei settori costieri limitrofi, CARTA GEOLOGICA D'ITALIA a scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (2002) e Foglio 256 Rimini (2005) si veda il Subsistema di Ravenna, AES₈ della presente sezione) e la loro buona riconoscibilità e cartografabilità ne supporta l'utilizzo come limiti di UBSU.

La porzione regressiva di ciascun ciclo è suddivisa in due parti. La parte inferiore è costituita da depositi fini di tracimazione fluviale dominati da limi alternati a sabbie e/o argille e comprendenti ghiaie e sabbie di canale fluviale sotto forma di corpi lenticolari, isolati, a geometria nastriforme. La parte superiore del ciclo è data da sedimenti prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale, che formano depositi compositi, organizzati complessivamente in corpi lateralmente estesi ed interpretati come lobi di conoide alluvionale passanti, sottocorrente, nella pianura alluvionale più aperta, a sistemi di canale fluviale arealmente e verticalmente giustapposti. I lobi ghiaiosi di conoide alluvionale dei vari cicli deposizionali non sembrano estendersi più a nord dell'allineamento Medicina-Cotignola.

Il ciclo più superficiale rappresenta l'unico ciclo affiorante nel Foglio 222, è incompleto ed è rappresentato dalla porzione trasgressiva seguita dalla parte

iniziale di quella regressiva.

Sulla base dei caratteri trasgressivo-regressivi dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, della loro durata temporale (fig. 19) e della loro estensione a scala regionale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998) essi sono considerati il prodotto della ciclicità elementare climatico-eustatica di quarto ordine che caratterizza l'evoluzione del periodo Quaternario (i.e. MARTINSON *et alii*, 1987).

Alcune considerazioni ed approfondimenti relativi alle relazioni tra le unità stratigrafiche affioranti e sepolte riconosciute in AES e all'origine della ciclicità sedimentaria osservata, saranno trattati in "VII - La sedimentazione di AES nel settore romagnolo della pianura padana".

La definizione dei subsintemi

Nei settori intravallivi e pedecollinari affioranti nei Fogli limitrofi (es. Foglio 239) AES è suddiviso in subsintemi (AES₅₋₈), ognuno dei quali è costituito da depositi alluvionali di un singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi separati da quelli immediatamente sopra e sottostanti da scarpate di erosione particolarmente ampie, che delimitano depositi geometricamente discordanti tra loro (fig. 18 e CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 Foglio 256 Rimini, 2005, Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005, si vedano inoltre gli altri Fogli della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA relativi al margine appenninico: Fogli 219, 2005; 220, 238, 239 e 255 in stampa). La superficie sommitale affiorante dei diversi subsintemi è caratterizzata da uno specifico grado di alterazione dei suoli.

Sulla base della prosecuzione fisica e/o geometrica dei corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale, i 3 subsintemi più recenti (AES₆, AES₇, AES₈) sono stati correlati con i 3 cicli deposizionali più superficiali riconosciuti all'interno di AES nel sottosuolo della pianura. Questi tre cicli più superficiali del sottosuolo sono quelli meglio definiti a scala regionale dato il numero relativamente alto di pozzi che li attraversano, compresi diversi carotaggi appositamente eseguiti per la cartografia geologica (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998, CARTA GEOLOGICA D'ITALIA a scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002, Foglio 256 Rimini, 2005, Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005).

Nei depositi sepolti di AES al di sotto dei primi 3 cicli/subsintemi sono presenti altri 2 cicli deposizionali che tuttavia, diversamente da quelli già illustrati, sono conosciuti in modo più approssimativo dato il numero esiguo di informazioni geognostiche disponibili e sono stati attribuiti ad AES indifferenziato (figg. 18 e 19). Il sondaggio 239-S10, che ha attraversato interamente l'unità AES, e le sezioni geologiche profonde, mostrano che questi 2 cicli più bassi hanno caratteri simili ai cicli sovrastanti sebbene presentino potenti corpi sabbiosi fluvio-deltizi di alimentazione padana più spostati verso SO rispetto ad AES₆, AES₇ ed AES₈. In futuro l'acquisizione di nuovi dati, soprattutto cronologici, su questi due cicli inferiori potrebbe consentirne la correlazione con i subsintemi AES₅ e AES₄ affioranti al margine appenninico (fig. 18).

Nel Foglio 222 AES è costituito, in affioramento, dal solo AES₈.

Lo spessore di AES varia da circa 100 m presso il limite meridionale del Foglio 222 fino a circa 300 m nel settore centrale del Foglio.

L'età della base del sintema è attribuita, per posizione stratigrafica e per confronto coi cicli climatico-eustatici, al Pleistocene medio (circa 400-430 ka, si veda Cap. VII, REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). I depositi del tetto dell'unità sono attualmente in evoluzione e pertanto la loro età è olocenica.

4.2.1. - *Subsintema di Bazzano (AES₆)* (solo sottosuolo)

L'unità è presente nel Foglio 222 solo nel sottosuolo ed è costituita da un ciclo trasgressivo-regressivo attraversato quasi interamente dal sondaggio 222-S2 (è invece stato attraversato interamente dai sondaggi 239-S1 e 239-S10 e da diversi sondaggi ubicati nei Fogli limitrofi). Il subsintema affiora invece immediatamente a SO del limite meridionale (nel Foglio 239) dove è costituito da estesi depositi fluviali terrazzati correlati con il sottosuolo su base geometrica, in accordo con il quadro geologico regionale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Fogli 256 Rimini, 240-241 Forlì - Cervia, 2005 e Foglio 255 Cesena, in stampa).

I depositi di AES₆ (si veda fig. 18 e le sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato) poggiano in contatto netto sulle ghiaie e sabbie di canale fluviale del ciclo sottostante. Alla base il ciclo è costituito, nel settore meridionale, da depositi fini alluvionali con talora sostanza organica di origine palustre passanti sottocorrente, nel settore settentrionale, ad argille organiche lagunari e sabbie di cordone litorale (sondaggio 222-S2 in Appendice 2 e 223-S12 in CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002).

Nella porzione intermedia il ciclo è costituito da fitte alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di argine, rotta e piana inondabile. In questo intervallo le ghiaie e le sabbie di canale fluviale sono subordinate e confinate in corpi lenticolari nastriformi (associazione di piana alluvionale) e limitate alle porzioni a ridosso del margine appenninico (Foglio 239). Nel settore settentrionale, intercalati ai depositi alluvionali, è presente anche un sottile livello a facies lagunari che registra un'ingressione marina di entità minore rispetto a quella di base dell'unità.

Verso l'alto il ciclo mostra un progressivo aumento di depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale, spessi fino ad una decina di metri che si alternano a depositi argillosi e limosi di tracimazione fluviale, con contatti netti. I depositi ghiaiosi, che si concentrano nel settore meridionale del Foglio 222, tendono a giustapporsi lateralmente e verticalmente costituendo corpi tabulari estesi fino ad una decina di chilometri (associazione di conoide alluvionale). Essi si sfrangano sottocorrente in corpi nastriformi passando a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi di canale o argine fluviale (associazione di piana alluvionale).

Le analisi micropaleontologiche eseguite sul sondaggio profondo 222-S2 (Appendice 2) indicano che la base dell'unità è caratterizzata da un'associazione

ad Ostracodi dulcicoli (associazione *F*) e successivamente da una a Foraminiferi e Ostracodi tipica di ambiente marino marginale ad influenza fluviale (associazione *Mb-a*); la restante parte è dominata da un'ostracofauna tipica di acque dolci (associazione *F*), con l'eccezione di un sottile intervallo nella porzione media dell'unità, caratterizzata da un'associazione di Foraminiferi ed Ostracodi tipica di ambienti di baia o laguna (associazione *Bb-c*).

La lunga serie pollinica ottenuta dallo stesso sondaggio (Appendice 2), sebbene sia interrotta in più punti da campioni sterili, in corrispondenza di questa unità mostra alcuni spettri pollinici (nella porzione inferiore) ed un sottile intervallo (nella porzione superiore) caratterizzati dalla diffusione delle foreste (Appendice 2): le percentuali delle latifoglie arboree più termofile (*API*), infatti, risultano medio-alte, mentre sono basse quelle di *Pinus*. Anche le concentrazioni polliniche, limitatamente a questi due intervalli, risultano elevate, essendo indicative oltre che di migliore conservazione soprattutto di alta produzione pollinica legata allo sviluppo delle foreste per l'instaurarsi di condizioni climatiche temperate. Questi intervalli sono separati da altri intervalli caratterizzati dalla dominanza di *Pinus* ed elementi non-arborei (*NAP*) e da basse concentrazioni polliniche, che indicano quindi un paesaggio molto diverso, deforestato e occupato da formazioni arboreo-arbustive dovuto a condizioni climatiche nettamente diverse e di tipo glaciale.

Questa alternanza e la presenza concomitante di particolari taxa "Terziari" indicativi dal punto di vista palinostratigrafico rende questi intervalli confrontabili con quelli del sondaggio 223-S17 attribuiti allo stadio isotopico 7 (cfr. AMOROSI *et alii*, 1999b).

L'unità è sigillata al tetto, con contatto netto, dai depositi argillosi di piana alluvionale, palude e laguna del ciclo sovrastante.

Lo spessore del subsistema varia da pochi metri, presso il margine SO del Foglio a 60-70 m nei settori depocentrali della pianura. La sua età, desunta dalla posizione stratigrafica, è riferibile al Pleistocene medio. Sulla base della correlazione della successione con la scala dei cicli climatico-eustatici di PETIT *et alii* (1999) si può presupporre un'età compresa fra c.a. 230-240 ka e 120-130 ka (si veda "VII - La sedimentazione di AES nel settore romagnolo della pianura padana").

4.2.2. - Subsistema di Villa Verucchio (AES₇) (solo sottosuolo)

L'unità è presente nel Foglio 222 solo nel sottosuolo mentre affiora localmente a sud del Foglio 239, dove è costituita da depositi fluviali terrazzati poggianti, tramite una superficie di erosione fluviale, sui depositi marini mio-pliocenici. I depositi fluviali ghiaiosi di AES₇ si immergono rapidamente verso nord nel sottosuolo della pianura del Foglio 239 e del Foglio 222 a partire dai principali sbocchi vallivi dove costituiscono i depositi grossolani sommitali di un ciclo trasgressivo-regressivo sepolto. I depositi di questo ciclo sono descritti, in toto o

in parte, in un numero relativamente alto di indagini geognostiche della Banca Dati Geologici, nonché dai 17 sondaggi eseguiti appositamente dalla Regione Emilia-Romagna; fra questi, i sondaggi 222-S2, 222-S10 (Appendice 1) e 239-S10 hanno attraversato l'intera unità stratigrafica. L'unità ha uno spessore di varie decine di metri e poggia in contatto netto sulle ghiaie e sabbie di canale fluviale del ciclo sottostante (AES₆).

La porzione basale trasgressiva del ciclo è costituita da depositi fini di tracimazione fluviale contenenti vari livelli di qualche metro di argille e limi localmente ricchi di sostanza organica, di origine palustre (sondaggio 222-S10). Questi depositi passano sottocorrente, verso il settore di NE del Foglio 222, ad argille organiche lagunari, sabbie marine di cordone litorale e di fronte deltizio e argille e limi di prodelta (sondaggio 222-S2 e CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002 e Foglio 256 Rimini, 2005).

In base alle microfaune, la porzione basale dell'unità è caratterizzata, nel settore NE del Foglio, da associazioni di Foraminiferi e Ostracodi di ambienti di baia e laguna (associazione *Bb-Bc-Bd*) e marino-marginali ad influenza fluviale (associazione *Ma-Mb*) (Appendice 2).

Nella porzione intermedia il ciclo è costituito da fitte alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di argine, rotta e piana inondabile dove sono frequenti livelli pedogenizzati, parzialmente o totalmente decarbonatati. In questo intervallo le ghiaie e le sabbie di canale fluviale sono subordinate e confinate in corpi lenticolari nastriformi (associazione di piana alluvionale) e limitati ai settori a ridosso del margine appenninico. Nel settore settentrionale del Foglio sono frequenti livelli di argille e limi ricchi di sostanza organica che testimoniano localmente ambienti palustri e una generale condizione di idromorfismo della piana inondabile (sondaggio 222-S2).

Le analisi micropaleontologiche eseguite sul sondaggio 222-S2 testimoniano che in questo intervallo sono esclusivamente presenti ostracofaune dulcicole (associazione *F*) (Appendice 2).

Nella porzione sommitale il ciclo è caratterizzato da abbondanti depositi grossolani ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale che formano dei corpi composti a geometria relativamente tabulare, spessi complessivamente fino a 10-15 metri. Così come per AES₆, i depositi ghiaiosi di AES₇ si concentrano presso il margine SO del Foglio e nell'adiacente Foglio 239. Costituiscono dei corpi che si aprono a ventaglio dagli sbocchi vallivi dei fiumi principali verso la pianura aperta (conoidi alluvionali). I lobi di conoide alluvionale presenti nel sottosuolo del Foglio 222 sono riferibili al T. Sillaro e al F. Santerno e si sviluppano come sistemi fisicamente separati (si veda la carta del Foglio Allegato e le sezioni geologiche superficiali). Sottocorrente questi corpi ghiaiosi si sfrangiano in canali isolati a geometria nastriforme (transizione alla piana alluvionale). Questi depositi grossolani dell'intervallo sommitale di AES₇ sono sede della prima importante falda acquifera ampiamente sfruttata nel territorio di pianura del Foglio 222 e di quelli limitrofi (LIPPARINI, 1963; FARABEGOLI & ONOREVOLI, 1989) corrispondente al sistema acquifero A1 in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998). In essi si

concentra la gran parte dei pozzi per acqua raccolti nella banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna (fig. 9). Dato il loro particolare interesse dal punto di vista sia stratigrafico sia geologico applicativo, sono oggetto specifico della carta riportata nel Foglio Allegato alla Carta Geologica e sono ampiamente descritti in due delle tre sezioni geologiche superficiali del medesimo Foglio Allegato.

I lobi di conoide sono costituiti da ghiaie, talora grossolane, che sia lateralmente sia sottocorrente tendono ad essere separate in più livelli da depositi fini (fig. 18, sondaggi 222-S13 e 222-S14 e sezioni geologiche superficiali del Foglio Allegato). In particolare, sottocorrente, i depositi ghiaiosi di canale passano a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi di canale o argine fluviale i quali formano anch'essi dei corpi compositi, arealmente estesi, ma caratterizzati da limiti inferiore e superiore più irregolari e frastagliati (sistemi di canale fluviale giustapposti della pianura alluvionale). Essi sono presenti nella gran parte dell'area del Foglio 222 in questo intervallo stratigrafico. Data la loro geometria fortemente irregolare, lo spessore fortemente variabile e la loro modesta rilevanza dal punto di vista applicativo (raramente sono sede di acquiferi sfruttabili) non sono stati rappresentati nella cartografia di sottosuolo del Foglio Allegato alla Carta Geologica. Lateralmente e/o sottocorrente, questi depositi grossolani di canale fluviale passano a depositi più fini di tracimazione fluviale che, al tetto, sono generalmente ben ossidati od interessati da pedogenesi e riferibili ad un ambiente di piana alluvionale drenata.

Lo spessore di questo intervallo stratigrafico sommitale di AES₇, caratterizzato da sedimenti fluviali grossolani arriva ad un massimo di 20-25 m di spessore. Le datazioni radiometriche ¹⁴C (tab. 2) eseguite nei depositi organici e nei frammenti legnosi in esso contenuti hanno dato età comprese fra 18.000 +/- 150 e >44.550 anni (età B.P. non cal., rispettivamente sondaggi 222-S6 e 222-S10).

Il limite di tetto di AES₇ non affiora nel Foglio 222. Esso viene posto, nel sottosuolo, in corrispondenza del tetto dei depositi grossolani di canale fluviale sopra descritti oppure in corrispondenza del tetto delle tracimazioni di piana alluvionale ben drenata che ne costituiscono l'equivalente laterale e/o sottocorrente. Nella gran parte del Foglio tale superficie è ricoperta dai depositi organici di piana alluvionale e di palude/laguna, appartenenti alla base, trasgressiva, del subsistema sovrastante (AES₈). Nei Fogli limitrofi di margine della pianura alluvionale questa superficie si correla verso monte con un suolo non calcareo molto evoluto di colore bruno rossastro e con spessore dell'orizzonte decarbonato di oltre 1 m; esso si sviluppa direttamente sui depositi ghiaiosi di conoide (alfisuolo) o sui depositi intravallivi di tracimazione fluviale (Foglio 239). Anche nei settori verso mare (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002), il tetto del subsistema è ben definito dal contatto erosivo dei depositi trasgressivi di AES₈ sui depositi di piana alluvionale di AES₇ riferibili all'acme dell'ultima glaciazione (18-20.000 anni B.P.). Nelle aree a mare (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005) questi

ultimi affiorano direttamente sul fondo dell'Adriatico; datazioni effettuate su livelli ricchi in materia organica e/o torbe hanno fornito età sempre maggiori di 20.000 anni B.P. (FABBRI *et alii*, in stampa).

Le analisi polliniche eseguite nei depositi di AES₇ del sondaggio 222-S2 (Appendice 2) riguardano l'intera unità. I dati relativi alla porzione inferiore evidenziano un intervallo caratterizzato da associazioni a forte dominanza delle latifoglie arboree più termofile (espressa dal gruppo delle arboree *API*) che testimoniano la diffusione marcata delle foreste temperate a seguito dell'instaurarsi di condizioni climatiche di tipo interglaciale, calde ed umide. In questo intervallo *Pinus* è estremamente ridotto e le concentrazioni polliniche totali mostrano valori medio alti a testimonianza dello sviluppo di una copertura forestale densa. Il passaggio tra questo intervallo e le associazioni tipiche di ambiente freddo glaciale dell'unità sottostante è brusco. Al di sopra di questo intervallo si osserva un generale declino della foresta temperata (progressiva riduzione delle percentuali di *API*), che si esprime attraverso episodi temperati via via sempre più modesti, accompagnati da uno sviluppo forestale progressivamente minore fino ad arrivare, nella porzione superiore, alla completa scomparsa di queste foreste per l'instaurarsi di condizioni climatiche glaciali. La piena affermazione di queste condizioni fredde ed aride quindi è testimoniata dallo sviluppo di una vegetazione dominata da *Pinus* con percentuali anche alte di elementi non arborei, tra cui in particolare quelle resistenti all'aridità (gruppo delle *NAP2*).

AES₇ è spesso complessivamente da poche decine di metri presso il margine di SO del Foglio ad oltre 100 m nei settori depocentrali della pianura. La natura trasgressivo-regressiva dei depositi del subsistema, la ricostruzione della curva pollinica, le età radiometriche, nonché le analogie con aree limitrofe (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002, Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 240-241 Forlì-Cervia, 2005) consentono di correlare AES₇ con il ciclo climatico-eustatico compreso fra gli stadi isotopici 5e (Tirreniano Auct.) e 2 della curva degli isotopi dell'ossigeno di MARTINSON *et alii* (1987). Sulla base di questa considerazione l'età del subsistema è attribuita all'intervallo compreso fra c.a. 120-130 ka e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

4.2.3. - *Subsistema di Ravenna (AES₈)*

Tutti i depositi quaternari affioranti nel Foglio 222 sono stati attribuiti a questo subsistema. Esso è attraversato per intero dalla gran parte delle indagini geognostiche della banca dati geologici (figg. 9 e 13) trattandosi dell'unità affiorante e di spessore inferiore ad una trentina di metri, ed è pertanto l'unità meglio caratterizzata fra i depositi quaternari della pianura, per quanto riguarda sia la superficie sia il sottosuolo. La continuità fisica dei suoi depositi e delle superfici che la definiscono lungo tutta la pianura emiliano-romagnola orientale, la posizione stratigrafica e l'età hanno consentito di correlare questa unità con quella affiorante nell'area tipo (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio

223 Ravenna, 2002).

Nei settori intravallivi ed allo sbocco delle valli dei Fogli immediatamente a sud del Foglio 222 (es. Foglio 239) AES₈ è dato da depositi fluviali organizzati in vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da tracimazioni fluviali argillose, limose e sabbiose, variamente pedogenizzate.

Questi depositi passano, nel settore di pianura alluvionale del Foglio 222, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.) che dominano quasi tutta l'area in esame. Nel margine NE del Foglio questi depositi alluvionali passano ai depositi limoso-sabbiosi ed argillosi più meridionali dell'apparato deltizio del fiume Po.

Il tetto del subsistema, che coincide con il piano topografico, presenta suoli con diverso grado di alterazione, i cui orizzonti superiori variano da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei, affiorano prevalentemente nel margine meridionale del Foglio. Essi hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro (Hue 10YR-2.5Y, Value 3-5, Chroma 2-4) ed uno spessore degli orizzonti decarbonatati da 0,5 ad 1 m. Al di sotto dell'orizzonte decarbonatato si sviluppano orizzonti ad accumulo di carbonato di calcio sotto forma di concrezioni o concentrazioni soffici (profilo A-Bw-Bk: Inceptisuolo).

Questi suoli sono associati a ritrovamenti di reperti archeologici di età variabile dal Neolitico al Romano (fig. 6). La frequentazione romana, in particolare, è particolarmente evidente fra Lugo e Massa Lombarda, dove il reticolo viario secondario segue ancora chiaramente le tracce della centuriazione (VEGGIANI, 1984a). Numerose tracce di frequentazione romana sono anche riconosciute negli abitati di Lugo e di Bagnacavallo e nel margine SO del Foglio a sud di Castel Guelfo.

Nell'area compresa tra Castel Guelfo e Mordano sono stati trovati reperti neolitici in affioramento ed associati a suoli che si immergono verso NE ed E; nel sito archeologico della Fornace di Lugo i resti di un abitato del neolitico antico si trovano sepolti ad una quota di circa 14 m dal piano campagna (VON ELES & STEFFÈ, 1986b).

I suoli calcarei, che occupano la gran parte della superficie affiorante, appartengono all'unità AES_{8a} e sono descritti nel paragrafo corrispondente.

Gli affioramenti di AES₈ riguardano solamente i depositi sommitali dell'unità, pertanto la sua organizzazione interna ed i rapporti con il subsistema sottostante sono stati ricostruiti in gran parte con l'ausilio di dati geognostici di sottosuolo (figg. 9 e 13). Sulla base di questi dati è stato possibile osservare che i depositi di AES₈ costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo trasgressivo-regressivo, simile a quelli descritti in precedenza, ma incompleto perchè attualmente in corso di evoluzione. I depositi di questo ciclo poggiano in contatto piuttosto netto sui depositi di canale e di tracimazione fluviale al tetto del ciclo sottostante (AES₇).

La descrizione seguente dei depositi sepolti di questo ciclo deposizionale si riferisce a tre distinti settori della pianura: il settore di NE ed il settore centrale relativi alla bassa pianura e il settore di SO dell'alta pianura.

Nel settore di NE (si veda per es. la sezione superficiale C-C' del Foglio Allegato) i depositi di AES₈ sono in contatto netto sulle tracimazioni fluviali, spesso fortemente indurite e talora con toni di colore che indicano condizioni drenate (tetto di AES₇). La porzione trasgressiva del ciclo inizia con depositi organici palustri e lagunari contenenti una macro e microfauna indicanti condizioni variabili da ipoaline a mesoaline (associazione *F* e *Bd*). I depositi palustri-lagunari passano lateralmente, verso mare (Foglio 223) e verso l'alto (sondaggio 222-S4), a depositi sabbiosi di cordone litorale e di fronte deltizia (oggetto della cartografia in pianta alla scala 1:50000 del Foglio Allegato).

La transizione alla porzione regressiva del ciclo è generalmente graduale ed è espressa dalla progradazione dei depositi di palude-laguna sulle sabbie litorali e quindi da quella dei depositi di piana alluvionale sui depositi di palude-laguna.

Nel settore centrale della pianura alluvionale (sezioni C-C' e D-D' del Foglio Allegato) il limite fra AES₈ ed AES₇ è meno netto ed evidente. I depositi lagunari trasgressivi di AES₈ passano, verso monte, a depositi fini di piana alluvionale non drenata alternati a depositi organici di palude. In questo settore, pertanto, il limite fra i due subsistemi si colloca all'interno di facies di piana alluvionale in cui i depositi di AES₇ si caratterizzano per la frequenza di corpi più grossolani (sabbie di canale o rotta fluviale), per la presenza di tracce di pedogenesi o quanto meno di orizzonti giallastri o screziati (indicanti condizioni ben drenate), mentre in quelli di AES₈ prevalgono caratteri tipici della pianura non drenata (frequenti livelli palustri, buona preservazione della sostanza organica, colori grigi, assenza di pedogenesi). Nell'area di NE di questo ampio settore della pianura, i depositi marini di cordone litorale si chiudono repentinamente verso SO e passano ad un potente corpo di depositi palustri e lagunari che rappresenta il prodotto di un lungo stazionamento, in quest'area, di un ambiente di retrobarriera e di piana deltizia (oggetto della cartografia in pianta alla scala 1:50000 del Foglio Allegato). La porzione regressiva del ciclo che lo sigilla in affioramento è costituito da depositi alluvionali di piana non drenata, palude e laguna che passano gradualmente verso SO ai depositi di piana ben drenata.

Nel settore di SO (sezioni C-C' e E-E' del Foglio Allegato) i depositi di AES₈ poggiano in contatto netto sulle ghiaie e sabbie di conoide alluvionale che caratterizzano il tetto di AES₇. La porzione trasgressiva del ciclo è data da depositi fini di piana alluvionale non drenata alternati a depositi organici di palude analoghi a quelli descritti per il settore centrale della pianura. I sedimenti grigi e neri di piana non drenata e palude passano gradualmente, verso l'alto, a depositi prevalentemente fini di tracimazione fluviale, caratterizzati, nella parte inferiore, da colori grigiastri che verticalmente tendono a diventare gialli screziati.

Più in alto si assiste ad un aumento della frequenza e dello spessore dei livelli ossidati giallastri fino a sviluppare dei veri e propri suoli decarbonatati. Questo passaggio è ben documentato anche nei Fogli limitrofi (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

in scala 1:50.000 Foglio 256 Rimini, 2005) e rappresenta l'evoluzione da una piana alluvionale non drenata ad una piana alluvionale ben drenata (FARREL, 1987; ASLAN & AUTIN, 1999); esso riflette lo sviluppo di un reticolo idrografico progressivamente sempre più inciso in un contesto di aggradazione/progradazione della pianura alluvionale.

Sulla base di quanto detto si possono riassumere i 2 principali elementi caratterizzanti AES₈ in tutta l'area del Foglio:

- 1) il limite inferiore è ben definito come contrasto di facies nel settore di alta pianura dove i primi depositi di AES₈ sono caratterizzati da facies di piana alluvionale non drenata e palude e poggiano direttamente sui depositi di conoide alluvionale di AES₇ e nel settore di pianura costiera dove i primi depositi di AES₈ sono costituiti da depositi lagunari e marini e poggiano sui depositi fluviali di AES₇. Nella porzione intermedia (settore centrale della pianura) il limite è espresso in modo meno marcato, non corrisponde ad un netto cambio di ambiente, ed è riconoscibile solo per una generale tendenza al prevalere dei depositi fini di piana non drenata e palude sui depositi relativamente più grossolani di piana alluvionale sottostanti.
- 2) La porzione basale di AES₈ è caratterizzata dalla frequente presenza di sedimenti ricchi di sostanza organica palustri e/o lagunari di natura trasgressiva che si accompagnano ad una generale disattivazione dei sistemi fluviali del ciclo sottostante ed ad un generale spostamento verso monte dei sistemi deposizionali.

Questo intervallo basale costituisce pertanto un orizzonte stratigrafico di correlazione molto importante che caratterizza la base del subsistema in settori della pianura anche abbastanza diversi e lontani fra loro (per distanze dell'ordine di decine di chilometri). La sua età, definita su basi radiometriche (tab. 2), varia da 14.280 +/- 140 (sondaggio 222-S10) a 7.420 +/- 60 (sondaggio 222-S2). Deposit analoghi per facies, posizione stratigrafica ed età sono stati individuati in tutti i Fogli della pianura emiliano-romagnola rilevati od in corso di realizzazione per la CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (in particolare: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 240-241 Forlì -Cervia, 2005).

In ampi settori del Foglio, pertanto, la superficie trasgressiva che separa il subsistema AES₈ da AES₇ è espressa da una rapida variazione di facies che, in analogia a quanto riportato nei Fogli della Carta Geologica summenzionati, materializza verosimilmente una lacuna stratigrafica di qualche migliaio di anni.

L'insieme dei dati disponibili ed in particolare i caratteri di facies sopra descritti suggeriscono che tale lacuna temporale sia ben sviluppata solo nelle zone di alta pianura e in quelle nord-orientali di bassa pianura del Foglio 222 mentre sia più ridotta, se non localmente assente, nel settore centrale.

I risultati delle analisi polliniche sui campioni provenienti dai sondaggi 222-S2, 222-S4 e 222-S6 (Appendice 2 e 3) mettono in evidenza alcune peculiarità paleoambientali e stratigrafiche del limite basale dell'unità; in corrispondenza

di questa superficie, infatti, vengono documentati: a) il passaggio da condizioni climatiche glaciali (AES₇) - testimoniate da formazioni arbustivo-erbacee dominate da *Pinus* e *NAP* - a condizioni climatiche interglaciali (AES₈) testimoniate dallo sviluppo marcato delle foreste temperate a latifoglia, e b) la presenza locale di uno iato deposizionale per erosione e/o non deposizione che, nel sondaggio 222-S2 sembra comprendere l'intero complesso di oscillazioni climatiche dell'Interstadiale Tardiglaciale ed il Dryas Recente (iato che quindi potrebbe essere valutato in almeno 6000-7000 anni).

Il subsistema ha una geometria complessiva relativamente tabulare con spessori che si aggirano intorno ai 25 m e passa ad una geometria cuneiforme verso lo spigolo SO del Foglio dove lo spessore si riduce rapidamente ad una decina di metri.

Sulla base dei dati radiometrici l'età del subsistema è compresa fra c.a. 14.000 anni (B.P. non calibrata) e l'attuale e corrisponde con la fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene (cfr. con CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002; Foglio 256 Rimini, 2005 e Foglio 240-241 Forlì -Cervia, 2005).

Analogamente a ciò che è stato fatto negli altri Fogli della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 in corso di realizzazione o stampa della pianura emiliano-romagnola, in questo subsistema è stata distinta una unità di rango gerarchico inferiore, l'unità di Modena (AES_{8a}), la quale contiene i depositi più superficiali (sempre affioranti) e più recenti del Foglio, compresi quelli attualmente in evoluzione (si veda il lavoro di CREMASCHI & GASPERI, 1989 per quanto riguarda la descrizione dei depositi rilevati nella località tipo). Essa include, quindi, i depositi fluviali in evoluzione b₁ che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. La distinzione tra b₁ e AES_{8a} è stata operata limitatamente nel margine SO del Foglio, in corrispondenza del corso del T. Sillaro; questi depositi sono costituiti prevalentemente da sabbie, localmente da ghiaie e ciottoli, con matrice fine ed occupano l'alveo del torrente e le aree adiacenti interessate dalle piene ordinarie.

AES_{8a} è un'unità pellicolare, di pochi metri di spessore, che raggiunge i 10 m solo localmente, in corrispondenza dei dossi fluviali o della fronte deltizia. Nel settore di alta pianura, a SO del Foglio (nel Foglio 239), la base di AES_{8a} è data da una superficie di erosione fluviale che passa lateralmente ad una scarpata di terrazzo in cui sono confinati i depositi di canale. Nei settori di bassa pianura la base di AES_{8a} è individuata dal contatto, in discontinuità, delle sue tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo di AES₈ che contiene i reperti di epoca romana o più antica in posto (si veda in particolare la porzione meridionale della sezione A-A').

Il tetto di AES_{8a} è dato da un suolo poco evoluto, calcareo, di pochi decimetri di spessore e generalmente di colore bruno olivastro o bruno grigiastro (Hue

2.5Y, Value 3-5, Chroma 2-6; profilo Ap-Bw/C: Entisuolo). Questa superficie di tetto è priva di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati ed è caratterizzata da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (ad esempio argini e piane inondabili).

Nel settore di alta pianura, lungo il corso del F. Santerno nel margine di SO, l'unità è costituita da depositi sabbiosi, con rare ghiaie, e sabbioso-limosi di canale fluviale. Essi sono organizzati in un unico ordine di terrazzo, la cui scarpata è incisa nei depositi di argine della stessa unità di Modena. Nella pianura alluvionale prevalgono i depositi di tracimazione fluviale, all'interno dei quali è stato possibile distinguere i depositi sabbioso-limosi di argine, canale e rotta fluviale dai depositi argillosi e limosi di piana inondabile. Nel settore NE, AES_{8a} è costituita da depositi limoso-sabbiosi di canale distributore e depositi argilloso-limosi ricchi di sostanza organica di area interdistributrice, appartenenti al sistema deltizio padano, in particolare all'apparato del Po di Primaro.

L'età di AES_{8a} è riferita all'epoca post-romana, sulla base dei seguenti caratteri:

- 1) la presenza di abbondanti e frequenti reperti romani (e più antichi) al tetto dei depositi sottostanti, fra i quali si segnalano numerosi elementi infrastrutturali (edifici, strade, ecc.);
- 2) l'assenza di questi reperti all'interno dei depositi di AES_{8a} o la loro presenza esclusivamente come elementi rimaneggiati;
- 3) l'alterazione pedogenetica modesta o del tutto assente della superficie affiorante di AES_{8a}.

Più in dettaglio i dati storici ed archeologici indicano che l'unità si è deposta a partire dal IV-VI secolo d.C. (BONDESAN, 1986; CIABATTI & VEGGIANI, 1990; MONTEVECCHI & NOVARA, 2000; VEGGIANI, 1982, 1987).

PROGETTO
CARG

VI - SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE

Secondo la normativa sul rilevamento e cartografia geologica dei depositi quaternari le UBSU descritte in carta vengono caratterizzate anche sulla base delle litologie e degli ambienti deposizionali (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992). Nella carta geologica di superficie questa caratterizzazione viene fatta con l'ausilio di sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche. Per questo motivo nelle presenti note viene inserito un capitolo per la descrizione delle litologie e degli ambienti deposizionali che completa le informazioni già riportate nello spazio dedicato alla stratigrafia. In queste pagine è dedicato anche ampio spazio alle descrizioni delle litologie e degli ambienti non affioranti (con la dicitura "solo sottosuolo"), ma estesamente presenti nella pianura sepolta e rappresentati negli elaborati del Foglio Allegato alla Carta Geologica poiché sono considerati strategici per la comprensione dell'architettura stratigrafica di tutta la geologia dell'area di pianura. Per la caratterizzazione di questi ultimi si è fatto largo uso sia di osservazioni dirette (carotaggi appositamente realizzati) che di quelle indirette (informazioni contenute nella Banca Dati geognostici della Regione Emilia-Romagna o nei dati AGIP per l'esplorazione petrolifera). Fra le osservazioni indirette si sottolinea l'importanza delle prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) appositamente realizzate per il Progetto CARG e le cui potenzialità per la caratterizzazione dei sistemi deposizionali sepolti è stata già enfatizzata in AMOROSI & MARCHI (1999).

1. - DEPOSITI ALLUVIONALI

1.1. - DEPOSITI DI CONOIDE E PIANA ALLUVIONALE

1.1.1. - *Ghiaie di riempimento di canale fluviale* (solo sottosuolo)

Depositi costituiti prevalentemente da ghiaie che variano da grossolane a fini ed hanno matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa (fig. 20). Gli strati variano da spessi a molto spessi ma preferenzialmente sono amalgamati e formano dei corpi di spessore compreso fra 2 e 5 metri che costituiscono la porzione grossolana di una sequenza positiva. Questa si chiude con uno spessore variabile da pochi decimetri a qualche metro di sabbie, limi ed argille in contatto netto sulle ghiaie. Nelle penetrometrie meccaniche ed elettriche queste ghiaie offrono una resistenza all'attraversamento della punta estremamente alta (maggiore di 350-400 kg/cm²) per cui la prova si arresta in corrispondenza della superficie sommitale del deposito. Sono interpretati come sequenze di riempimento di canale ghiaioso. Essi formano corpi a geometria nastriforme larghi qualche centinaio di metri (canali singoli di piana alluvionale) oppure si saldano lateralmente e verticalmente e formano dei corpi composti con geometria d'insieme relativamente tabulare e spessore oltre 10 metri (canali amalgamati di conoide, sondaggi 222-S10, 222-S14). Sono presenti solo nel sottosuolo del margine SO del Foglio e sono oggetto specifico della cartografia in pianta a scala 1:50.000 del Foglio Allegato.

1.1.2. - *Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale* (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da sabbie organizzate in sequenze positive ben sviluppate, con granulometria che passa da medio-grossolana, localmente anche con ciottoli, a fine e finissima (fig. 20) con un passaggio graduale ai depositi limosi ed argillosi di chiusura della sequenza. Lo spessore del singolo corpo sabbioso si aggira fra i 2 e 5 metri. Nelle CPTU questi corpi si caratterizzano per gli alti valori di resistenza alla punta (> 100 kg/cm²), il basso rapporto fra l'attrito laterale e la resistenza alla punta, i valori negativi di sovrappressione interstiziale ed il tipico andamento della curva della resistenza alla punta con il brusco aumento dei valori alla base e la progressiva diminuzione verso l'alto (AMOROSI & MARCHI, 1999). Sono interpretati come sequenze di riempimento di canale sabbioso e, localmente, di rotta fluviale (sondaggi 222-S10, 222-S11, 222-S5, 222-S8, 222-S14). Sono presenti solo nel sottosuolo dove formano corpi estesi da varie centinaia di metri a qualche chilometro e costituiscono la prosecuzione fisica sottocorrente dei depositi di canale ghiaioso (piana alluvionale e transizione con la conoide).

1.1.3. - *Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale*

Depositi costituiti da alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva o negativo-positiva. Localmente sono presenti sabbie medio-grossolane alla base delle sequenze positive ed intercalazioni di argilla al tetto. Sono interpretati come depositi di argine e di rotta fluviale e, subordinatamente, di riempimento di canale (quando gli strati sono relativamente più spessi e grossolani). Sono stati cartografati solo in superficie dove formano dei corpi rilevati a geometria nastriforme, di larghezza variabile da poche centinaia di metri a 5 km e possono essere formati da un singolo sistema fluviale o da più sistemi coalescenti. Sulla

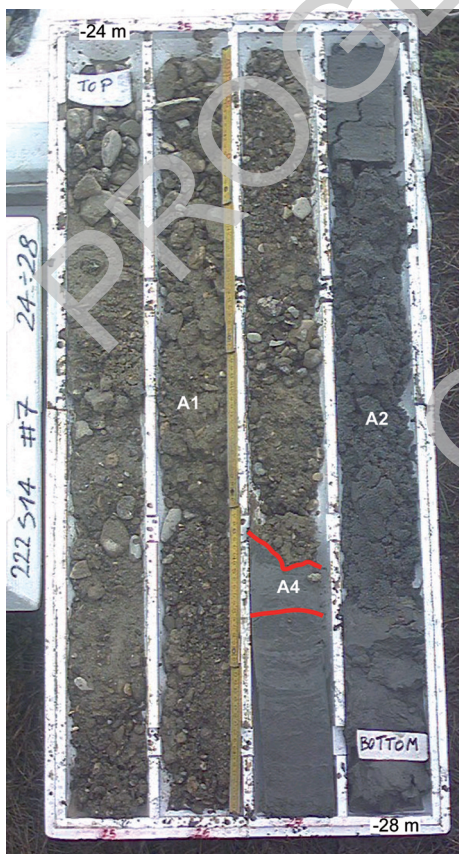


Fig. 20 - Ghiaie di riempimento di canale fluviale con matrice sabbiosa (A1) che appoggiano con base erosiva su un sottile livello di argille limose di piana inondabile (A4) che chiude la sequenza positiva di sabbie medie e grossolane, localmente laminate, di riempimento di canale fluviale (A2). Dettaglio del sondaggio 222-S14 da -24 m a -28 m (Subsistema di Ravenna - AES₈). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.

loro superficie sono spesso visibili le tracce dei canali abbandonati e dei ventagli di rota. Lo spessore massimo è intorno a 7-8 m. Passano lateralmente a depositi di piana inondabile con contatti graduali.

1.1.4. - Argille e limi di piana inondabile

Depositi costituiti da argille e limi in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi. Spesso le argille contengono tracce di apparati radicali e sono intensamente bioturbate per cui non sono più visibili la stratificazione e le strutture sedimentarie originarie (fig. 21). Sono interpretati come depositi di piana inondabile. Sono stati cartografati solo in superficie dove affiorano nelle aree depresse interposte ai rilievi deposizionali

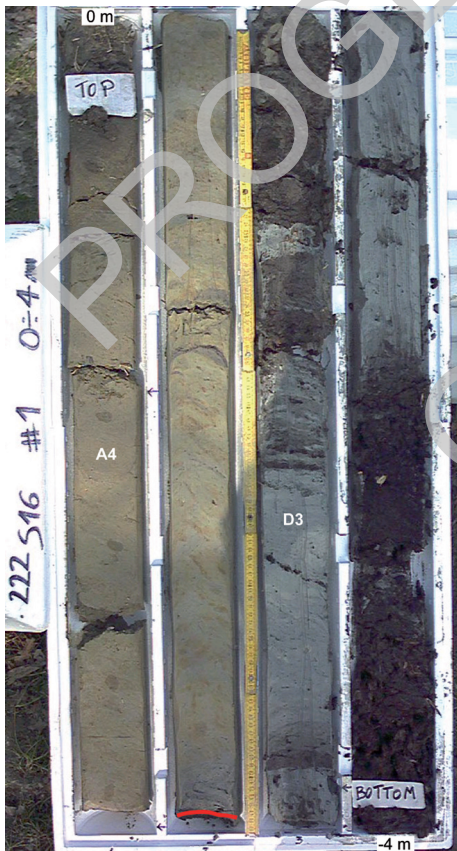


Fig. 21 - Argille e limi grigio-verdastre con aloni ("screziate") ocra di piana inondabile (A4) che passano verso il basso con contatto netto ad argille e limi grigi con sostanza organica di palude-laguna (D3, litofacies 1) con intercalati livelli torbosi (D3, litofacies 2). Dettaglio del sondaggio 222-516 da 0 m a -4 m (Subsistema di Ravenna - AES). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.

degli argini, canali e rotte fluviali e fra questi e la fascia dei depositi deltizi (“valli”). Formano corpi a geometria allungata parallelamente agli assi fluviali, che può divenire più complessa quando diverse aree interfluviali si saldano fra loro costituendo i bacini in cui si chiudono i depositi di argine, canale e rotta dei corsi d’acqua appenninici (es. T. Sillaro e F. Santerno); sono spessi generalmente pochi metri. Passano lateralmente a depositi di argine, canale e rotta fluviale con contatti graduali o a depositi di canale distributore con contatti netti.

Nel sottosuolo i depositi di argine, canale e rotta e quelli di piana inondabile sono spesso difficili da distinguere e cartografare separatamente (così come avviene per i sedimenti fortemente pedogenizzati affioranti nei fogli dell’alta panura) per cui sono generalmente accorpate in un’unica voce: alternanze di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale indifferenziata (per es. nelle sezioni geologiche superficiali del Foglio Allegato).

1.1.5. - *Argille e limi con sostanza organica palustri* (solo sottosuolo)

Depositi costituiti da argille e, in minor misura, da limi variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata o assente. La presenza di sostanza organica indecomposta conferisce a questi depositi un colore grigio-nerastro che viene spesso segnalato anche nelle descrizioni di indagini geognostiche non particolarmente dettagliate (per esempio come “argille nere” e “torbe”). La sostanza organica può essere presente in lamine millimetriche, come frammenti vegetali o essere diffusa nell’argilla. Quest’ultimo caso è molto frequente: la sostanza organica si concentra, tramite un progressivo graduale incremento verso l’alto, al tetto di cicli dominati da litologia molto fine e con gradazione positiva. Talora sono presenti diffusi fenomeni di bioturbazione che hanno obliterato tutte le strutture sedimentarie interne. Spesso sono anche presenti resti di gasteropodi continentali diluiti nella matrice argillosa. Nelle CPTU questi depositi si caratterizzano per i valori particolarmente bassi di resistenza alla punta ($< 10 \text{ kg/cm}^2$) e di attrito laterale, nonché valori molto alti di sovrappressione interstiziale (AMOROSI & MARCHI, 1999). Le microfaune sono rappresentate generalmente da associazioni di Ostracodi tipici di ambienti dulcicoli (sondaggi 222-S2, 222-S4 e 222-S6).

Gli orizzonti più sottili sono interpretati come depositi di palude effimera entro un’associazione di facies di piana inondabile non drenata. Gli orizzonti più spessi e più estesi arealmente sono interpretati come vere e proprie paludi d’acqua dolce di area interfluviale (sondaggio 222-S3). Lo spessore complessivo dell’associazione di facies varia da pochi decimetri a qualche metro. Questi corpi passano lateralmente e verticalmente a depositi di tracimazione fluviale in contatto da graduale a netto. Verso la piana costiera passano, con contatto graduale, a depositi organici di palude-laguna.

2. - DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI

2.1. - DEPOSITI DI PIANA DELTIZIA

2.1.1. - *Alternanze di sabbie e limi di argine e canale distributore*

Depositi costituiti da sabbie fini e finissime in strati da sottili a spessi, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili, spesso laminati (fig. 22). Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme, con spessore massimo di 3,5 m. Questi depositi affiorano unicamente nello spigolo NE del Foglio e sono intercettati dai sondaggi

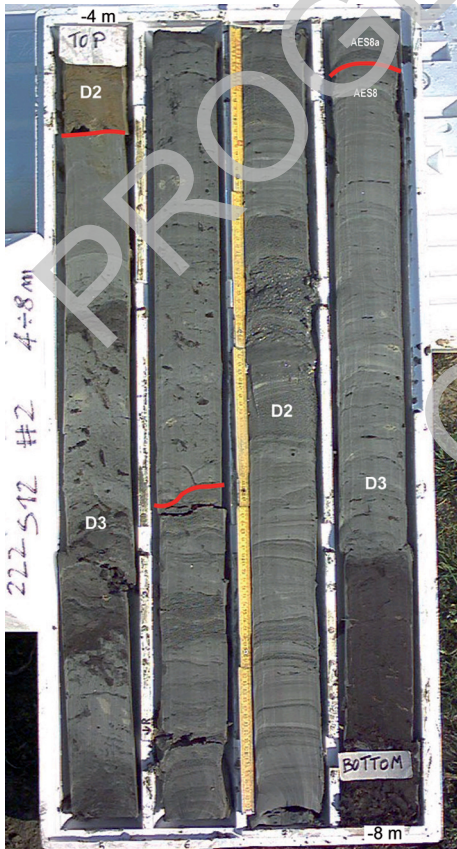


Fig. 22 - *Alternanze di sabbie fini e limi di argine e canale distributore (D2), intercalate ad argille e limi con sostanza organica di palude-laguna (D3). Si osservano all'interno di D3: argille e limi bioturbati e localmente laminati ricchi in sostanza organica con diffusi frammenti di legno e argille e limi laminati con aspetto "varvato" (litofacies 1); torbe e argille limose nere organiche (litofacies 2). Dettaglio del sondaggio 222-S12 da -4 m a -8m (Unità di Modena da -4 m a -7.1 m, Subsistema di Ravenna - AES₈ da -7.1 m a -8 m). Le sigle utilizzate fanno riferimento all'Appendice 1.*

222-S12 e 222-S4. Sono interpretati come depositi di argine e canale distributore sulla base delle relazioni geometriche con gli altri depositi del sistema deltizio padano (Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000, 1999) e dei dati storici che consentono di legarli all'attività del Po di Primaro. Passano lateralmente con contatti da netti a graduali ai depositi di area interdistributrice e di piana inondabile.

2.1.2. - *Argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice*

Depositati costituiti da argille limose, argille e limi argillosi variamente arricchiti in sostanza organica, intercalati localmente ad argille torbose e torba in strati da sottili a spessi e ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata od assente. Si osserva la presenza, variabile, di bioturbazione. I resti conchigliari sono rari e si rinvencono sia interi sia in frammenti; appartengono generalmente ad organismi di ambiente salmastro. Sono interpretati come depositi di area interdistributrice. Formano corpi sedimentari a geometria lenticolare o tabulare concentrati nelle zone depresse, spesso al di sotto del livello del mare, comprese tra i dossi formati dagli argini e canali distributori con cui hanno contatti graduali. Hanno spessore da pochi decimetri fino al massimo di 1 m e sono limitati allo spigolo NE del Foglio.

2.1.3. - *Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna (solo sottosuolo)*

Depositati costituiti da argille e limi variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) alternati ad argille, limi e, raramente a limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata od assente (figg. 21 e 22). Hanno una presenza variabile di bioturbazione e frequenti resti conchigliari sia interi sia in frammenti. Contengono al loro interno diverse litofacies:

- 1) argille e limi in lamine millimetriche spesso fortemente arricchite in sostanza organica (aspetto varvato), bioturbazione variabile, generalmente rara o assente, rari livelli con frammenti conchigliari; presenti frammenti di legno e locali intercalazioni di limi e limi sabbiosi in strati sottili, (litofacies 1);
- 2) torbe o argille e limi neri in cui il contenuto di sostanza organica, prevalentemente frammenti vegetali, è molto elevato (litofacies 2);
- 3) argille limose e limi omogenei, con sostanza organica diffusa ma poco abbondante. Frammenti conchigliari e gusci interi di gasteropodi e lamelli-branchi molto abbondanti, bioturbazione diffusa, localmente sono presenti fitte laminazioni (litofacies 3);
- 4) sabbie finissime e sabbie limose in strati sottili e medi (raramente spessi), bioturbate, con livelli a frammenti conchigliari frequenti (litofacies 4).

Alle litofacies precedenti si aggiungono, in stretta associazione, quelle corri-

spondenti alle “argille e limi con sostanza organica palustri” descritti nell’ambito dei sistemi di piana alluvionale.

Nelle CPTU le litofacies 1, 2 e 3 si caratterizzano per i valori particolarmente bassi di resistenza alla punta ($< 10 \text{ kg/cm}^2$) e di attrito laterale (che spesso è al di sotto della risoluzione strumentale), nonché valori molto alti di sovrappressione interstiziale che si accompagnano a tempi di dissipazione particolarmente lunghi (AMOROSI & MARCHI, 1999). La litofacies 4 (riconoscibile dove questi depositi sono particolarmente estesi e spessi) si caratterizza come picchi isolati con base e tetto netti e spessore centimetrico e decimetrico dati da valori relativamente alti di resistenza alla punta, dalla caduta del rapporto fra l’attrito laterale e la resistenza alla punta e dal rapido decremento della sovrappressione interstiziale.

Le microfaune rinvenute nei depositi su descritti appartengono alle associazioni di Foraminiferi e Ostracodi tipiche di ambienti di baia o laguna e di paludi salmastre (sondaggi 222-S2, 222-S4 e 222-S6).

Le analisi polliniche (sondaggio 222-S2, Appendice 2) rivelano l’abbondanza di Chenopodiaceae insieme con frequenti granuli di cf. *Limonium* ed *Armeria*, indicante prossimità o presenza *in situ* di ambienti salmastri. Tali piante sono molto comuni attualmente in ambienti simili delle Valli di Comacchio. *Alnus* - cioè gli ontani - quasi sempre abbondante, indica la prossimità di ambienti ripariali, mentre l’abbondanza di Poaceae e di Igro-Idrofite indica la presenza *in situ* di specchi d’acqua dulcicoli.

Sono interpretati complessivamente come depositi di palude-laguna da dulcicola a salmastra. Le litofacies 1 e 2 testimoniano ambienti di piana deltizia a bassa energia e sporadicamente in connessione con il mare aperto (laghi costieri, paludi da dulcicole a salmastre, aree interdistributrici). Le litofacies 3 e 4 testimoniano ambienti della piana deltizia e di retrocordone, in connessione parziale con il mare aperto (lagune, baie, sacche), dove gli episodi di massimo influsso marino sono rappresentati da depositi di *washover* (litofacies 4).

Raggiungono spessori di 10-15 m subito a monte della chiusura del cordone litorale con il quale hanno sempre contatti netti (sondaggio 222-S4). I contatti variano da netti a transizionali con i depositi di tracimazione fluviale e di palude della piana alluvionale. Sono presenti nel sottosuolo dei quadranti settentrionali del Foglio e sono oggetto specificamente della cartografia in scala 1:50.000 del Foglio Allegato.

2.2. - SABBIE DI CORDONE LITORALE (SOLO SOTTOSUOLO)

Depositati costituiti da sabbie grigio-giallastre con granulometria da finissima a grossolana e buona cernita, da massive a laminate con locali intercalazioni di limi sabbiosi, rari ciottoli, un contenuto variabile di bioclasti e con uno spessore massimo di circa 15 m. Al tetto si osservano localmente sabbie massive molto ben cernite, prive di matrice e di bioclasti marini e con evidenze di pedogenesi mentre alla base possono essere frequenti lag conchigliari di molluschi marini

interi od in frammenti, spessi da pochi cm a qualche dm, spesso associati a qualche ciottolo.

Nelle CPTU questi corpi si caratterizzano per i valori relativamente alti di resistenza alla punta (mediamente $> 50 \text{ kg/cm}^2$) anche se fortemente variabili, il basso rapporto fra l'attrito laterale e la resistenza alla punta, i valori negativi di sovrappressione interstiziale ed il tipico andamento della curva della resistenza alla punta dato da valori molto alti al tetto con una progressiva diminuzione verso il basso, dove la curva mostra una brusca caduta in corrispondenza del passaggio ai depositi fini sottostanti (cfr. AMOROSI & MARCHI, 1999). In base alle analisi micropaleontologiche, le associazioni microfaunistiche che si rinvennero più frequentemente nei depositi sopra descritti (associazioni *R*) (Appendice 2) sono costituite da fossili fortemente rimaneggiati o spiazzati da ambienti limitrofici (sia lagunari sia marini).

Sono interpretati come depositi di cordone litorale organizzati in una sequenza progradante (sondaggi 222-S4, 222-S2) con facies di duna di retrospiaggia al tetto che passano verso il basso a facies di spiaggia (battigia e spiaggia sommersa) e localmente a depositi residuali trasgressivi.

Ai depositi di cordone litorale s.s. sono associate anche facies di fronte deltizia, rappresentate da sabbie fini limose e limi sabbiosi in fitte alternanze centimetriche e decimetriche, localmente da sabbie medie e fini mal cernite, da massive a laminate con *clay chips* e rari o assenti bioclasti, con spessore di qualche metro. Costituiscono complessivamente un corpo cuneiforme che si ispessisce rapidamente verso mare fino a raggiungere spessori massimi di circa 10 m nello spigolo NE del Foglio. Sono in contatto netto con le argille e limi con sostanza organica di palude, palude salmastra e laguna o direttamente con le tracimazioni fluviali di piana alluvionale sia alla base (superficie di ravinement) che al tetto. Sono presenti nel sottosuolo dello spigolo di NE e sono oggetto specificamente della cartografia in scala 1:50.000 del Foglio Allegato.

2.3. - ARGILLE E LIMI DI PRODELTA E TRANSIZIONE ALLA PIATTAFORMA (SOLO SOTTOSUOLO)

Depositi costituiti da argille limose, argille e limi argillosi ricchi di materiale conchigliare, con intercalazioni di sabbie fini e finissime in strati da molto sottili a sottili complessivamente interpretati come depositi di prodelta e transizione alla piattaforma. Formano corpi a geometria cuneiforme che si sviluppano a partire dallo spigolo di NE del sottosuolo della pianura costiera (sondaggio 222-S2) per poi espandersi verso mare, con spessore massimo di una decina di metri. Passano gradualmente, verso terra, a depositi di cordone litorale e, in particolare, costituiscono la porzione fine della sequenza di facies progradante e retrogradante-progradante descritta sopra in cui rappresentano le fasi di massima ingressione marina.

Le associazioni faunistiche che si rinvennero in questi depositi indicano ambienti marini infralitorali a influenza fluviale (associazioni *Ma-Mb* nel sondaggio 222-S2).

2.4. - SABBIE FLUVIO-DELTAIE E DI PIATTAFORMA INDIFFERENZIATE (SOLO SOTTOSUOLO)

Depositi costituiti prevalentemente da sabbie medie e fini in strati amalgamati di diversi metri di spessore e subordinate sabbie limose e limi, organizzati in sequenze di tipo *coarsening upward* di spessore complessivo massimo di 30-40 m. Sono frequenti resti conchigliari di organismi marini sia sparsi sia concentrati in sottili livelli. I log elettrici dei pozzi per idrocarburi che attraversano questi corpi hanno un tracciato con valori di resistività progressivamente crescenti procedendo dalla base al tetto della sequenza (si veda figg. 8 e 18 e le sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato). Sulla base dei caratteri geofisici, dei dati più profondi della Banca Dati geognostica e soprattutto dei carotaggi appositamente eseguiti nei fogli limitrofi che hanno raggiunto questi depositi (Foglio 203 in corso di completamento) essi sono interpretati come successioni regressive passanti da depositi di piattaforma/prodelta alla base a sabbie di fronte deltaico, sabbie litorali e quindi sabbie di canale fluviale al tetto. Queste ultime sono sigillate da depositi fini di pianura alluvionale. Formano corpi a geometria tabulare di grande estensione e continuità laterale, attribuibili al sistema fluvio-deltaico padano ed alla piattaforma adriatica.

VII - LA SEDIMENTAZIONE DI AES NEL SETTORE ROMAGNOLO DELLA PIANURA PADANA

Nel presente paragrafo viene presentata una ipotesi di evoluzione del settore romagnolo del bacino di sedimentazione di AES, effettuata sulla base delle conoscenze acquisite durante il rilevamento del Foglio 222 e sulla base del quadro geologico regionale acquisito durante la realizzazione del Progetto CARG e di altri progetti a carattere regionale.

La deposizione di AES si realizza durante un generale marcato avanzamento dei sistemi deposizionali, come è apprezzabile dalla linea sismica di figura 15.

L'inizio di questo avanzamento sembra coincidere con la formazione delle Sabbie di Imola - IMO e si manifesta chiaramente anche durante la deposizione di AEI.

Tale spostamento corrisponde, nel sottosuolo di questo settore, con il passaggio da facies sismiche di scarpata a facies sismiche di piattaforma (si veda fig. 8). Il ciclo sedimentario di AES nel Foglio 222 ha inizio proprio con sequenze di facies di piattaforma marina e termina con sequenze di facies di piana alluvionale, testimoniando la fase terminale di una generale evoluzione regressiva di colmamento del bacino di avampaese padano (ALLEN *et alii*, 1986, TUCKER & SLINGERLAND, 1996).

L'influenza dell'attività tettonica sulla sedimentazione

In figura 23 è illustrata la mappa della base di AES, sovrapposta alla traccia dei principali elementi strutturali plio-quadernari sepolti ed estesa nelle aree adiacenti il Foglio 222. Si può notare che tale base rappresenta una superficie deformata su cui si impilano intervalli stratigrafici anch'essi deformati (si vedano le sezioni geologiche profonde del Foglio Allegato) che segue l'andamento delle sinclinali, delle anticlinali e dei *thrust*. Anche la variazione di spessore della

successione è influenzata da questo assetto strutturale: gli ispessimenti della successione si registrano in corrispondenza delle zone di depressione strutturale e gli assottigliamenti in corrispondenza delle zone di culminazione. Lo spessore di AES nelle aree depocentrali raggiunge circa i 300 metri mentre nelle aree di alto relativo lo spessore supera di poco i 200 metri. Le variazioni di spessore si realizzano anche alla scala dei subsintemi; ad esempio, sia AES₆ sia AES₇ mostrano una variazione massima di circa 20 metri tra le zone depocentrali e le zone di alto.

Queste caratteristiche evidenziano che l'attività tettonica, connessa alle strutture sepolte plio-quadernarie, ha operato contemporaneamente alla sedimentazione di AES. La tettonica ha condizionando direttamente la geometria tanto del sistema quanto dei subsintemi attraverso l'individuazione di aree caratterizzate da diversi tassi di subsidenza, all'interno di un avampese comunque in abbassamento e colmato via via dai sedimenti più recenti.

Nel margine appenninico (Foglio 239) questa tettonica sinsedimentaria ha portato alla formazione di una zona in sollevamento ed erosione, in cui si realizza la terrazzatura di AES. Questo settore è in collegamento con il settore in abbassamento attraverso una cerniera strutturale che consente il movimento di basculamento e che si individua in prossimità degli sbocchi vallivi appenninici (si veda fig.18).

All'interno di questo contesto strutturale, il riempimento del bacino sedimentario di AES ha attraversato due fasi distinte: la prima fase è registrata dai due cicli sedimentari inferiori, la seconda fase dai tre cicli sedimentari superiori (AES₆, AES₇ ed AES₈).

Nei due cicli sedimentari inferiori si osserva l'aggradazione di sistemi costieri e marini e subordinatamente continentali. I tre cicli sedimentari superiori di AES sono caratterizzati nuovamente da aggradazione ma, in questo caso, di sistemi alluvionali che passano solo localmente a quelli costieri e marini. E' in prossimità della base di AES₆ che si registra un riassetto paleogeografico che ha un carattere fortemente regressivo e può essere imputato ad una intensificazione dell'attività tettonica. In un bacino in cui la forte subsidenza dà origine a cicli sedimentari di tipo aggradazionale, il brusco avanzamento dei sistemi deposizionali in corrispondenza del limite basale di AES₆, infatti, può essere ragionevolmente associata ad una riduzione e ad una redistribuzione dei tassi di subsidenza di questo settore.

In questa ricostruzione, le due unità inferiori di AES rappresentano l'evoluzione di un golfo Padano persistente. Questo golfo era caratterizzato da ambienti di piattaforma e veniva progressivamente colmato dai depositi deltizi e marino-marginali; la piana alluvionale si sviluppava soltanto durante le ultime fasi della regressione. Le unità superiori di AES (AES₆, AES₇, AES₈) rappresentano lo sviluppo della pianura Padana, più o meno come la conosciamo oggi. La piana alluvionale veniva invasa dal mare solo durante i principali sollevamenti eustatici e i sedimenti deltizi e marino-marginali venivano depositi limitatamente al settore più orientale dell'area in esame.

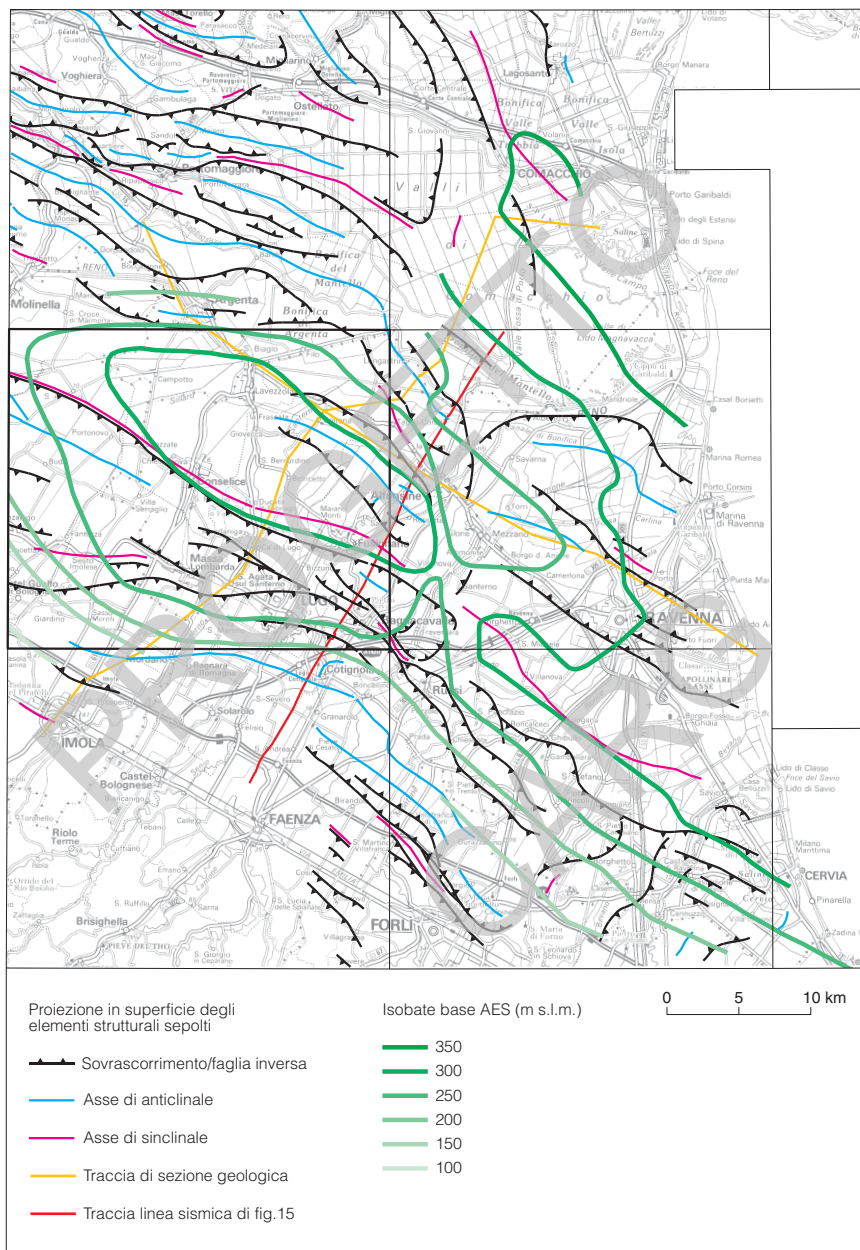


Fig. 23 - Schema dei principali elementi strutturali plio-pleistocenici sepolti e dell'andamento della base di AES nel settore romagnolo della pianura padana.

L'influenza della ciclicità climatico-eustatica sulla sedimentazione

L'analisi stratigrafica ad alta risoluzione ha permesso di riconoscere un'organizzazione interna di AES che ha condotto alla definizione di cicli sedimentari di vario ordine gerarchico. La figura 24 illustra sinteticamente la correlazione tra i cicli sedimentari riconosciuti nel sottosuolo del Foglio 222 e la ciclicità climatico-eustatica quaternaria.

Alla scala a cui è stata condotta l'analisi, emerge che i cicli più marcati, ovvero quelli riconoscibili più chiaramente attraverso le loro caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche, sono riconducibili ad una ciclicità climatico-eustatica con periodo di 100.000 anni a cui corrispondono i subsistemi trattati nel capitolo V. In particolare, si può osservare che la base di questi cicli si correla facilmente con le fasi di massimo innalzamento eustatico globale.

Sulla base di questo confronto il limite inferiore di AES è databile a circa 400-430 ka, il limite inferiore di AES₆ a circa 230-240 ka, la base di AES₇ a circa 120-130 ka.

Per quanto riguarda i cicli corrispondenti ad AES₆, AES₇ e AES₈ è possibile individuare le relazioni corrispondenti fra la bipartizione litologica osservata al loro interno (si veda "V - Stratigrafia") con il *trend* relativo alla curva delle variazioni climatico-eustatiche. La porzione fine che caratterizza la parte inferiore di ciascun subsistema sembra corrispondere a periodi interglaciali e interstadiali e con un generale innalzamento del livello del mare. La parte superiore di ciascun subsistema è caratterizzata da corpi sedimentari alluvionali sabbiosi e ghiaiosi che testimoniano le fasi di massima progradazione dei sistemi deposizionali (si veda Cap. V). Questo brusco avanzamento può essere attribuito alla regressione dovuta: 1) all'abbassamento eustatico, 2) alla massiccia presenza di depositi grossolani nei versanti e lungo le aste vallive, resi disponibili dalle condizioni ambientali proprie dei climi freddi e glaciali; 3) al forte incremento delle portate fluviali durante il complessivo deterioramento climatico delle fasi più fredde (BLUM & TÖRNQVIST, 2000).

All'interno dei cicli sedimentari con durata di circa 100.000 anni, sono identificabili, più o meno a metà dello spessore del ciclo, associazioni di facies che testimoniano un marcato arretramento dei sistemi deposizionali. Sulla base degli spessori di sedimento interessati e dei trend pollinici del sondaggio 222-S2 (Appendice 2), questi intervalli sono associati ad innalzamenti eustatici e miglioramenti delle condizioni climatiche alla scala dei 40-50000 anni. In AES₆ tale intervallo trasgressivo viene correlato con lo stadio dell'ossigeno 7a mentre in AES₇ esso viene associato allo stadio 5a (si vedano fig. 21 e Appendice 2).

Scendendo ancor più nel dettaglio e guardando dentro la porzione grossolana di AES₇, che rappresenta il periodo glaciale wurmiano, si può osservare che le facies di conoide alluvionale mostrano un'organizzazione interna che testimonia due fasi distinte di attivazione delle conoidi del T. Sillaro e del F. Santerno. La superficie di disattivazione che separa queste due fasi è marcata localmente dalla presenza di suoli sepolti e da un intervallo sottile e pressoché continuo,

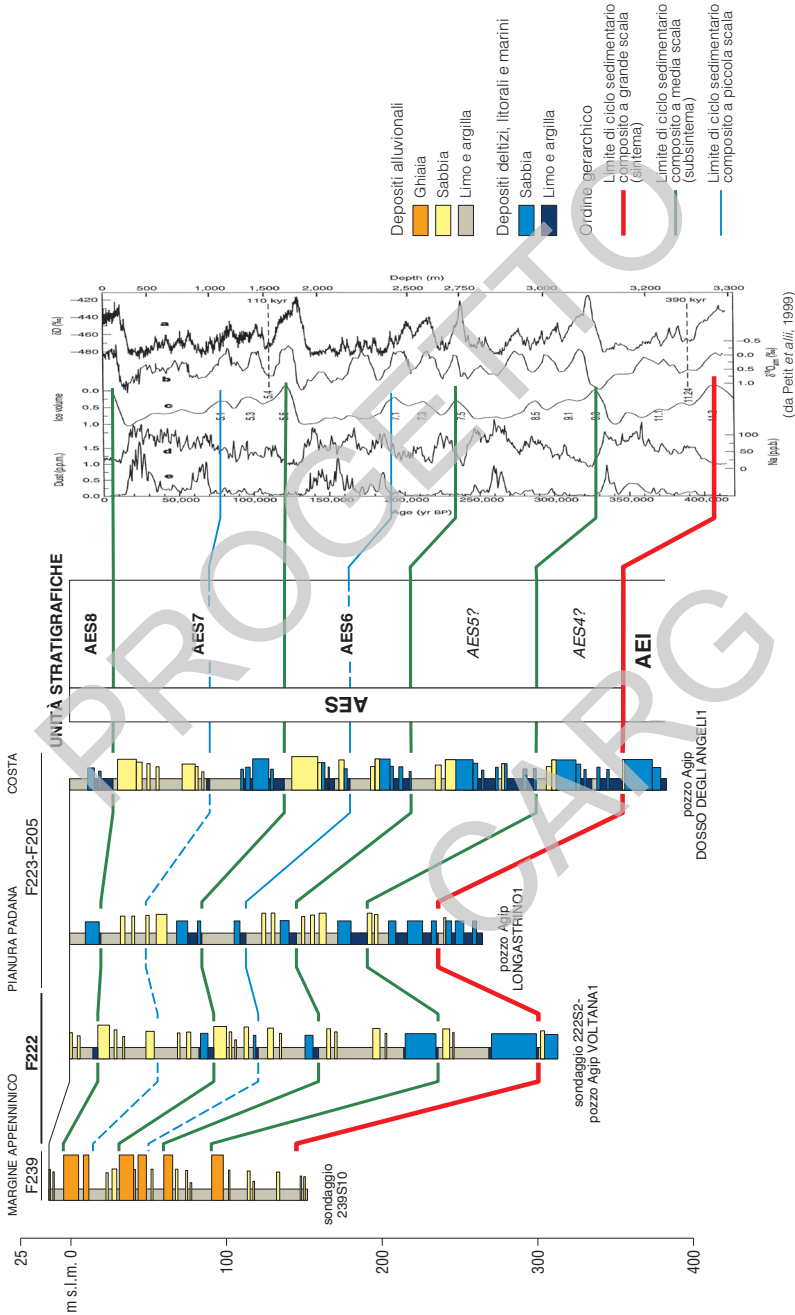


Fig. 24 - Sintesi delle caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche di AES nel settore compreso tra il margine appenninico imolese e la costa ravennate e correlazione tra i cicli sedimentari e le variazioni dei parametri fisico-chimici (da PETTI et alii, 1999) legati alla ciclicità climatico-eustatica quaternaria.

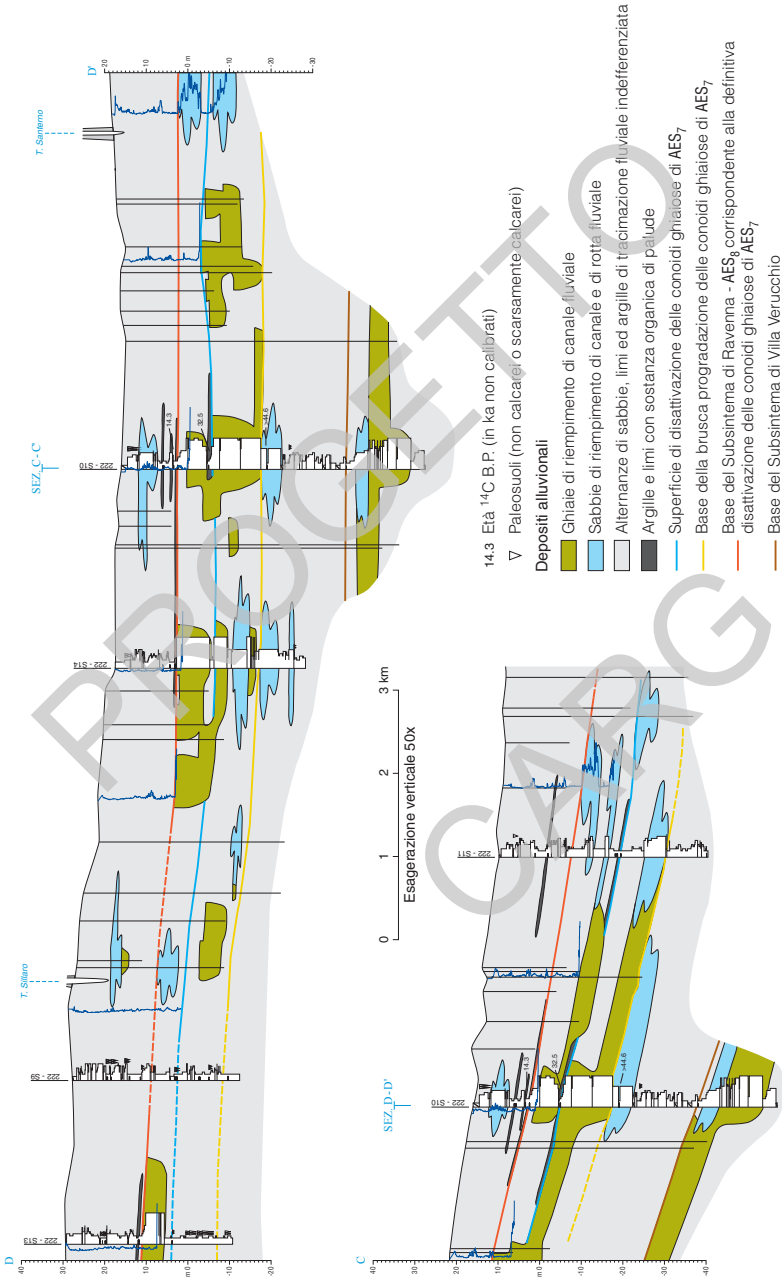


Fig. 25 - Sezione geologica superficiale D-D' e particolare della sezione superficiale C-C' (porzione meridionale) in cui sono evidenziate le superfici che esprimono le principali attivazioni (linee gialle) e disattivazioni (linee blu e rossa) dei conoidi ghiaiosi attribuiti al T. Sillaro e al F. Santarno.

localmente eroso, di sedimenti argillosi e limosi, spesso ricchi in sostanza organica, che ricopre i depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale e quelli limoso-argillosi di intercanale (si veda fig. 25). I dati cronologici indicano un'età (*B.P.* e non calibrata) di circa 32.000 anni.

E' possibile che queste fasi di attività delle conoidi studiate siano riconoscibili anche negli altri sistemi alluvionali adiacenti (come sembra delinearci anche dagli studi in corso, relativi ai Fogli limitrofi) e che siano la risposta sedimentaria a variazioni climatiche che si realizzano ad una scala inferiore rispetto a quelle trattate sopra.

L'insieme di queste considerazioni porta a sottolineare la grande importanza della ciclicità climatico-eustatica nella costruzione, a tutte le scale, della successione stratigrafica quaternaria della pianura.

PROGETTO
CARG

VIII - CARTOGRAFIA

Nella cartografia geologica in scala 1:50.000 dell'area padana il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ha scelto di aggiungere alla Carta Geologica (che, nel caso di aree di pianura, diviene una sorta di "geologia di superficie") un Foglio Allegato alla Carta Geologica, che esprime attraverso oggetti diversi la "geologia di sottosuolo". Le informazioni ricavabili dal Foglio Allegato alla Carta Geologica, combinate con quelle derivate dalla lettura della Carta Geologica e delle sezioni geologiche, consentono la ricostruzione tridimensionale dei corpi sedimentari di maggiore interesse geologico. Per quanto concerne esempi di cartografia geologica di superficie e di sottosuolo in aree di pianura nell'ambito della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA si veda: CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000 Foglio 223 Ravenna (1999), Foglio 219 Sassuolo (2005), Foglio 256 Rimini (2005) e Foglio 240-241 Forlì-Cervia (2005).

Nei due paragrafi seguenti vengono evidenziati gli elementi salienti dei prodotti cartografici presentati in questa edizione del Foglio 222 (Carta Geologica e Foglio Allegato). In essi vengono inoltre sintetizzati i principali caratteri delle unità stratigrafiche e dei sistemi deposizionali ampiamente descritti in "V - Stratigrafia".

1. - CARTA GEOLOGICA

La Carta Geologica, in scala 1:50.000, descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche e di facies delle unità stratigrafiche contenute nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, affioranti e subaffioranti nell'area del Foglio 222. E' basata su rilevamenti di terreno, integrati con l'interpretazione di dati provenienti da fotointerpretazione, analisi di immagine da satellite, trivellate a mano, sondaggi

a carotaggio continuo e prove penetrometriche (si veda “IV - Metodologia di studio”).

I depositi di superficie cartografati si riferiscono interamente al subsistema più recente (Subsistema di Ravenna - AES₈) del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e sono illustrati in dettaglio nel Cap. V. L'unità cartografica di rango gerarchico più piccolo è l'unità di Modena (AES_{8a}) che costituisce la parte sommitale di AES₈. Essa affiora in gran parte dell'area del Foglio, ad eccezione di alcuni settori del quadrante sud-occidentale. Le sezioni geologiche relative ai depositi di AES affioranti, illustrano i rapporti stratigrafici fra AES_{8a} ed AES₈.

All'interno delle unità geologiche sono stati distinti i tipi litologici dominanti corrispondenti ad associazioni di facies (ad es. argille e limi di piana inondabile) che riflettono distinte unità morfologico-deposizionali e caratterizzano i diversi sistemi deposizionali presenti. La loro distribuzione all'interno di AES₈ ed AES_{8a} mostra una differenza fra (a) il settore meridionale e centrale comprendente i depositi alluvionali dell'alta e della bassa pianura e (b) il margine nord orientale comprendente i depositi di piana deltizia del fiume Po.

a) La piana alluvionale

In AES₈, che affiora nel margine SO del Foglio, la piana alluvionale è costituita da una coltre di depositi sabbiosi, limosi e argillosi e la cui superficie sommitale è generalmente interessata da pedogenesi, anche se il grado di alterazione (es. spessore e grado di decarbonatazione) decrescono progressivamente da SO a NE. Sono stati distinti i depositi di canale ed argine dai depositi di piana inondabile, sulla base dei dati tessiturali e degli studi condotti nei Fogli limitrofi (Fogli 221 e 239, in preparazione). Le relazioni geometriche tra gli elementi deposizionali (dossi fluviali ed aree interfluviali), tuttavia, rimangono in parte dubbie a causa dei processi di alterazione del sedimento e di parziale modificazione delle morfologie originarie per erosione e risedimentazione dei depositi superficiali. E' stato comunque possibile riconoscere un paleocanale in AES₈ attribuibile ad un antico percorso del T. Sillaro, lungo l'allineamento S. Martino, Crocetta e Fantuzza, nel margine orientale del Foglio.

In AES_{8a} è possibile ricostruire con maggiore dettaglio l'evoluzione sottocorrente dei depositi della piana alluvionale, infatti sono state individuate:

- le aree dominate dai dossi fluviali riferibili ai percorsi attuali ed antichi del T. Sillaro, F. Santerno e del F. Senio.
- Le aree interfluviali, caratterizzate da depositi argillosi e limosi di piana inondabile. Queste aree formano dei nastri allungati parallelamente ai sistemi fluviali sopra citati, che si saldano tra loro nel settore settentrionale fino ad isolare, talora, le aree dei dossi fluviali abbandonati (ciò è ben evidente ad esempio per quanto riguarda i depositi del T. Sillaro). Questa particolare conformazione suggerisce che i corsi d'acqua appenninici in esame si estinguessero in acquitrini continentali (le “valli”, per esempio le Valli di Campotto, figg. 4 e 26) anzichè immettersi direttamente nei rami deltizi del fiume Po o sfociare in mare.

b) La piana deltizia

Questo settore si sviluppa limitatamente nel margine di NE, comprende solo i depositi AES_{8a} in affioramento ed è costituito da depositi di canale distributore e di area interdistributrice.

I depositi affioranti sono attribuiti al Po di Primaro, oggi abbandonato ed interrato (fig. 27), che si attivò nel VIII secolo (CIABATTI, 1990) e fu utilizzato come collettore dei fiumi appenninici (VEGGIANI, 1974; BONDESAN, 1986; CASTIGLIONI *et alii*, 1990) anche dopo la rotta di Ficarolo (1152 d. C.) che determinò l'abbandono del delta meridionale a favore dei rami deltizi settentrionali. La morfologia di questo settore mostra un particolare aspetto: le aree di tracimazione fluviale sono a quote superiori circa 3-4 metri rispetto alle aree interdistributrici, poste immediatamente a nord, formando un "innaturale" gradino nel profilo deposizionale, come è ben evidente nella sezione geologica A-A' della Carta Geologica. Questa conformazione è interpretata come il prodotto del colmamento della Cassa Ravegnana di Longastrino compresa a nord dal dosso del canale del Po di Primaro e a sud dal dosso del canale artificiale del fiume Reno.

Si noti che tra le informazioni aggiuntive presenti sulla Carta Geologica figurano l'ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna e le tracce di elementi morfologici notevoli (orli di terrazzo fluviale, orli di scarpata di cava, canali abbandonati, ventagli di rotta).

2. - FOGLIO ALLEGATO ALLA CARTA GEOLOGICA - GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO

La cartografia geologica di sottosuolo si realizza sulla base di dati puntuali e su processi di interpolazione, volti all'identificazione delle relazioni spaziali tra corpi sedimentari. L'obiettivo delle carte di sottosuolo è la definizione dell'architettura stratigrafica attraverso l'identificazione e la caratterizzazione di superfici di discontinuità e dei confini tra associazioni di facies. La definizione dettagliata dell'assetto stratigrafico nel sottosuolo riveste un'importanza fondamentale a fini pratici, costituendo la base scientifica per studi legati a subsidenza, protezione del suolo, ricerca e sfruttamento delle risorse idriche, ecc..

Sulla base della densità dei dati utilizzati nel Foglio 222 è possibile utilizzare il contenuto informativo della carta geologica di sottosuolo per la pianificazione territoriale a grande scala, mentre è inadeguato il suo utilizzo come elemento sostitutivo di indagini geognostiche per la soluzione di problemi su scala locale.

L'acquisizione di nuovi dati di sottosuolo, ad esempio in seguito all'esecuzione di una nuova campagna di sondaggi o prove penetrometriche, è probabilmente destinata a modificare la cartografia qui realizzata. In questo senso, le carte geologiche di sottosuolo devono essere intese come prodotti suscettibili di modifiche, soprattutto in aree relativamente povere di informazioni, qualora nuovi dati vadano ad integrare l'insieme dei dati pregressi.



Fig. 26 - Raro esempio di paesaggio della bassa pianura in cui è ancora preservato l'aspetto tipico dell'ambiente vallivo che caratterizzava ampi settori settentrionali del Foglio prima delle estese bonifiche degli ultimi due secoli (Oasi naturalistica delle Valli di Campotto).

Nel Foglio Allegato alla Carta Geologica sono riportati 3 tipi di elaborati:

- a) le “sezioni geologiche profonde” a scala 1:100.000
- b) le “sezioni geologiche superficiali” a scala 1:50.000
- c) la carta del “tetto delle ghiaie alluvionali e dei depositi deltizi e litorali - Subsintemi di Ravenna (AES₈) e di Villa Verucchio (AES₇)” a scala 1:50.000.

Per chiarire adeguatamente le relazioni stratigrafiche fra le unità e le geometrie interne dei corpi cartografati nelle sezioni geologiche profonde sono rappresentati anche i dati e le interpretazioni geologiche relative ad aree adiacenti al Foglio 222 (Fogli 204, 205, 239 e 240).

Le due “sezioni geologiche profonde” alla scala 1:100.000, di cui un dettaglio è riportato anche nella figura 18, sono costruite con un'esagerazione verticale di 25x (ovvero la scala verticale è 1:4.000 contro una scala orizzontale di 1:100.000). Queste sezioni “profonde”, una allineata approssimativamente lungo la direzione Imola - Comacchio, con orientazione circa SO-NE (ovvero circa perpendicolare al margine appenninico ed agli elementi strutturali sepolti), e l'altra lungo la direzione Argenta - Ravenna, con orientazione circa ONO-ESE (ovvero circa pa-



Fig. 27 - Foto aerea (volo 1996) dell'antico corso del Po di Primaro, presso Longastrino; le linee rosse definiscono l'estensione dei depositi di argine del canale distributore, il tracciato stradale segue il percorso del paleoalveo.

rallela ai lineamenti sopra citati) descrivono tutte le unità stratigrafiche relative al Supersistema Emiliano-Romagnolo, con un grado di dettaglio progressivamente minore mano a mano che si va in profondità nella successione stratigrafica. Ove possibile sono anche riportate alcune informazioni schematiche relative alle unità marine del substrato mio-pleistocenico e delle Sabbie di Imola (IMO). Nei settori prossimi alla catena appenninica sono stati proiettati, lungo la traccia delle sezioni, alcuni elementi geologici riferiti alle sponde vallive od al margine della catena, poiché questi consentono la ricostruzione, su basi geometriche, dell'architettura stratigrafica di superficie e sottosuolo in modo integrato (si veda fig. 18). Nelle sezioni, oltre alle unità stratigrafiche utilizzate, sono riportate delle indicazioni sulla geometria dei principali corpi litologici di rilevanza stratigrafica, le stratigrafie schematiche delle indagini geognostiche della Banca Dati Geologici e dei sondaggi appositamente realizzati per il progetto CARG ed i log elettrici dei pozzi AGIP utilizzati per l'allestimento delle sezioni (AGIP, 1972, 1994; REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998). Queste due sezioni hanno beneficiato di dati provenienti dai profili sismici e stratigrafie di pozzi per idrocarburi AGIP, soprattutto per ciò che riguarda i limiti fra i terreni del substrato mio-pleistocenico, IMO, AEI e AES.

Nell'ambito del Foglio 222 le due "sezioni profonde" costituiscono il documento fondamentale che descrive l'intelaiatura stratigrafica dei sintemi e dei subsintemi del Supersistema Emiliano-Romagnolo e le geometrie dei principali corpi deposizionali in esso contenuti, con particolare riferimento al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. Nell'intenzione degli autori queste sezioni rappresentano un punto di partenza per la ricostruzione tridimensionale della stratigrafia dei depositi quaternari continentali (e in parte marini) a scala regionale, nonché per la progettazione di applicazioni pratiche ad essi collegate (per esempio la ricerca, lo sfruttamento e la conservazione delle risorse idriche sotterranee, REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998).

Le tre "sezioni geologiche superficiali" alla scala 1:50.000 sono caratterizzate da una esagerazione verticale di 50x (ovvero la scala verticale è 1:1.000 contro una scala orizzontale di 1:50.000). Queste sezioni "superficiali" descrivono le unità stratigrafiche dell'immediato sottosuolo (in modo particolare il Subsintema di Ravenna - AES₈ e la parte superiore del Subsintema di Villa Verucchio - AES₇, si veda il Cap. V) in termini di geometrie dei principali corpi litologici ed associazioni di facies. Le 3 sezioni, in parte ortogonali fra loro (C-C' orientata in direzione SSO-NNE, in senso longitudinale agli assi fluviali; D-D' e E-E' orientate in direzione ONO-ESE in senso trasversale agli assi fluviali), consentono una visione tridimensionale dei corpi rappresentati. Altre informazioni riportate in queste sezioni riguardano la stratigrafia dei sondaggi appositamente realizzati per il progetto CARG, le età radiometriche ottenute sui campioni di materiale organico, la curva di variazione della resistenza alla punta delle penetrometrie realizzate per il progetto CARG e l'ubicazione (con la profondità raggiunta) delle indagini geognostiche della Banca Dati Geologica.

Data la scala e la modalità di rappresentazione queste sezioni costituiscono la base di partenza per la comprensione e la caratterizzazione del Subsintema di Ravenna e del Subsintema di Villa Verucchio, nonché dei rapporti stratigrafici e geometrici dei principali corpi litologici in essi contenuti e rappresentati nella carta descritta in seguito.

Per quanto riguarda la cartografia del sottosuolo è stato scelto di dare enfasi a quei corpi litologici che rivestono una particolare rilevanza dal punto di vista stratigrafico, paleogeografico ed applicativo. Essi sono rappresentati nella carta del "tetto delle ghiaie alluvionali e dei depositi deltizi e litorali - Subsintemi di Ravenna (AES₈) e di Villa Verucchio (AES₇). Questa descrive la geometria della superficie sommitale di:

- 1) i principali depositi ghiaiosi dell'immediato sottosuolo (profondità massima raggiunta non superiore a -20 m s.l.m.) appartenenti alla parte regressiva sommitale più marcatamente grossolana di AES₇, che è la prima unità stratigrafica, a partire dalla superficie affiorante, in cui sono particolarmente abbondanti i depositi alluvionali ghiaiosi. Questi depositi ghiaiosi di riempimento di canale fluviale registrano un picco di attività fluviale che ha

caratterizzato la storia recente della Pianura Padana (si veda il Cap. V). Su di essi si concentra una gran parte dei pozzi per acqua presenti nel Foglio 222 ed in quelli limitrofi; essi ricoprono quindi un grande interesse applicativo per quanto concerne la salvaguardia e lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee.

- 2) I depositi prevalentemente argillosi e limosi, ricchi di sostanza organica, di palude-laguna deltizia e di retrobarriera, appartenenti ad AES₈. Questi hanno una certa rilevanza dal punto di vista applicativo perché individuano una fascia di sedimenti sepolti contraddistinti da caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti, alta comprimibilità e da una sostanziale impermeabilità (si veda i Cap. V e VI).
- 3) I depositi sabbiosi di cordone litorale, appartenenti ad AES₈. Questi rappresentano il principale corpo sabbioso per spessore, estensione e continuità laterale, presente in superficie e nell'immediato sottosuolo lungo la pianura costiera adriatica (anche se solo marginalmente nel Foglio 222 ed unicamente nel sottosuolo).

La carta del Foglio Allegato rappresenta la distribuzione, in pianta, dei suddetti depositi fluviali, deltizi e litorali intercettati nel sottosuolo dalle indagini geognostiche della banca dati regionale. La natura dei depositi è definita sia in modo diretto, sulla base delle descrizioni riportate nelle stratigrafie dei pozzi e carotaggi, sia in modo indiretto, sulla base della risposta alla punta dei terreni nelle prove penetrometriche. La carta quindi è costruita interpolando, in pianta, le quote relative a dati puntuali che si riferiscono alla superficie di tetto di depositi riferibili alla medesima associazione di facies, anche aventi differenti età (pur all'interno della stessa unità stratigrafica). Essa quindi rappresenta, di fatto, le aree e le quote in cui vi è la probabilità massima di intercettare i primi depositi in esame a partire dalla superficie, in base al set di dati disponibili al momento del suo allestimento.

L'attribuzione stratigrafica dei depositi fluviali, deltizi e litorali è stata fatta sulla base del quadro stratigrafico ricostruito nelle sezioni geologiche ed ampiamente illustrato in "V - Stratigrafia" relativo alla stratigrafia dei depositi di pianura. Per questa attribuzione sono stati di fondamentale importanza le datazioni ¹⁴C effettuate sulle carote dei sondaggi a carotaggio continuo appositamente realizzati per il progetto CARG.

Si riportano di seguito alcuni commenti alla carta che scaturiscono dall'analisi della distribuzione in pianta dei depositi cartografati.

I depositi alluvionali ghiaiosi di AES₇ si concentrano nel quadrante sud-occidentale, in corrispondenza del corso del T. Sillaro e del F. Santerno e rimangono limitati al settore di alta pianura. Essi rappresentano le frange terminali di NE di estesi lobi di conoide alluvionale sepolti (e che non hanno un corrispettivo con i sistemi fluviali attuali e recenti presenti in quest'area). Al contrario i sistemi fluviali di AES₈ si caratterizzano per avere concentrati la gran parte dei depositi ghiaiosi all'interno delle rispettive aste vallive (Foglio 239).

Essi si chiudono poco oltre lo sbocco in pianura e si caratterizzano per una geometria nastriforme, con ampiezze in senso trasversale di poche centinaia di metri. Dalla carta si desume inoltre che i lobi di conoide di AES₇ riferibili al T. Sillaro ed al F. Santerno costituiscono sistemi fisicamente separati. Osservando la distribuzione di questi depositi, si possono identificare varie propaggini che rappresentano i principali lobi delle conoidi; è interessante notare che la posizione dei corpi ghiaiosi sia spostata verso occidente rispetto l'attuale asta fluviale dei rispettivi corsi d'acqua.

L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi ghiaiosi dei lobi di conoide è di c.a. 48 km².

I depositi palustri-lagunari occupano un ampio settore dell'attuale bassa pianura. Essi si chiudono a sud lungo l'allineamento Fusignano-Conselice-S. Antonio mentre si estendono verso NO nei limitrofi Fogli 204 e 203. Dal punto di vista paleogeografico la loro distribuzione in pianta rappresenta l'area complessiva di influenza dell'ingressione marina olocenica nell'entroterra padano, in termini di massima estensione della piana costiera e deltizia. Nel margine di NE la porzione sommitale di questo corpo poggia al di sopra dei sedimenti di cordone litorale evidenziando così la progradazione verso mare dei sistemi di palude-laguna della piana deltizia tardo olocenica. L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi palustri-lagunari è di c.a. 280 km².

I depositi di cordone litorale occupano una fascia di estensione ridotta presso il margine E e NE del Foglio 222 e si sviluppano, al di sotto del livello del mare fino all'isobata -14 m per risalire progressivamente in direzione circa NE fino ad una profondità di -2 m. La superficie mappata rappresenta l'involuppo del tetto di almeno due cordoni litorali che si sono sviluppati in tempi diversi durante lo spostamento verso mare della linea di costa. I depositi di cordone litorale si sviluppano ampiamente verso est, nei limitrofi Fogli 205, 223 e 240 mentre il loro limite occidentale, mappato nel Foglio 222, è caratterizzato da una brusca chiusura di queste sabbie verso terra e rappresenta la posizione più arretrata che abbia mai raggiunto la linea di costa durante la massima ingressione marina olocenica. L'area di sottosuolo complessivamente occupata dai depositi di cordone litorale è di c.a. 27 km².

APPENDICE 1

STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI















In questa appendice sono riportate le stratigrafie descrittive dei 17 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti appositamente per la realizzazione della Carta Geologica del Foglio 222 (da 222-S2 a 222-S18 sondaggi del progetto CARG). Il sondaggio 222-S18 è stato eseguito con il contributo economico del Prof. Augusto Fabbri.

Nelle stratigrafie riportate in appendice è illustrato il profilo granulometrico in termini di contenuto in argilla, limo, sabbia e ghiaia; il contenuto in sostanza organica; la presenza di alcuni costituenti particolari (es. fossili e legni); la presenza di particolari strutture sedimentarie (es. paleosuoli) ed infine l'età rilevata al carbonio 14. A lato del profilo granulometrico sono riportate le associazioni di facies e le unità stratigrafiche a cui viene riferito il singolo intervallo. Le sigle delle unità si riferiscono a quelle presentate nella Carta Geologica e in "V - Stratigrafia". L'ubicazione dei sondaggi è illustrata in figura 13.

La stratigrafia del sondaggio 222-S1 riportata di seguito è stata ricavata da studi precedenti nell'ambito del progetto CARG, relativi ai Fogli limitrofi; a causa della diversità dei criteri utilizzati per l'interpretazione stratigrafico-sedimentologica del sondaggio, si è scelto di mantenere la sua rappresentazione originaria.

LEGENDA DELLE STRATIGRAFIE DEI CAROTAGGI

simboli

4m s.l.m.	quota del piano campagna riferita al livello del mare
	intervallo non recuperato o fortemente disturbato
	tracce di sostanza organica
	abbondante sostanza organica diffusa e torbe
	frustoli vegetali
	frammenti di legno
	fossili
	fossili continentali
	fossili marini
$\lambda \lambda$	radici
	bioturbazione diffusa
	clasti di argilla
	fessure di essiccazione
	fitta laminazione pianoparallela
 20°	laminazione obliqua e angolo massimo osservato
	suolo evoluto (parzialmente o totalmente decarbonatato)
7420 ±60	età ¹⁴ C in ka B.P. non calibrata

A argille

L limi

S sabbie

G ghiaie

associazioni di facies

depositi alluvionali

A1 ghiaie di riempimento di canale fluviale

A2 sabbie di riempimento di canale fluviale

A3 alternanze di sabbie, limi ed argille di argine e di rotta fluviale

A4 argille e limi di piana inondabile

A5 argille e limi con sostanza organica palustri

depositi deltizi, litorali e marini

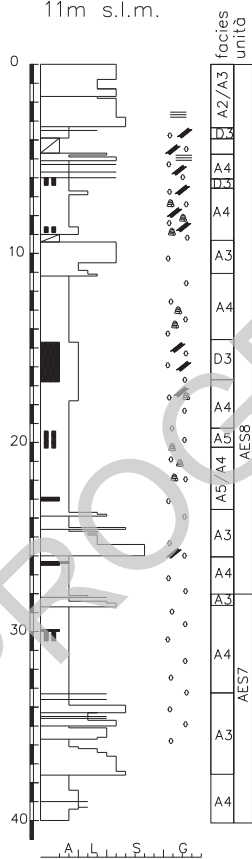
D1 sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia

D2 alternanza di sabbie e limi di argine e di canale distributore

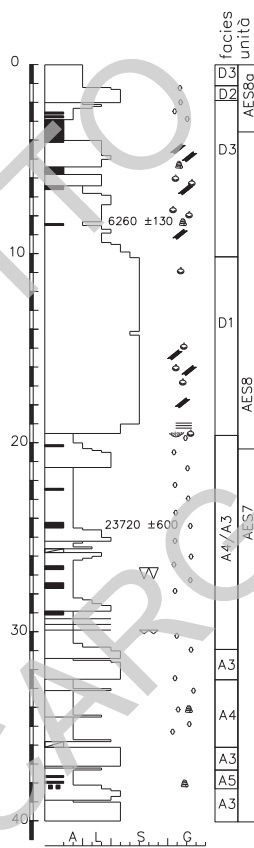
D3 argille e limi con sostanza organica di palude-laguna

M alternanze di argille, limi e sabbie di prodelta e spiaggia sommersa

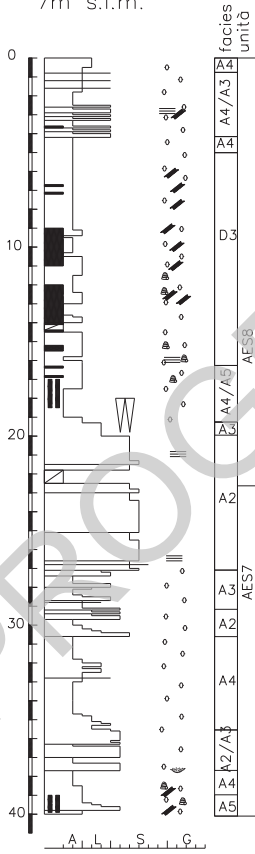
222-S3
11m s.l.m.



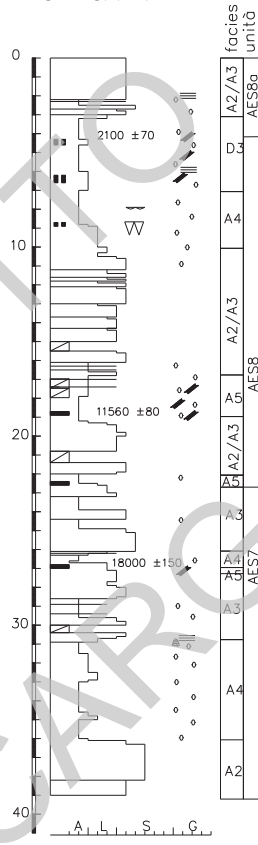
222-S4
-1m s.l.m.



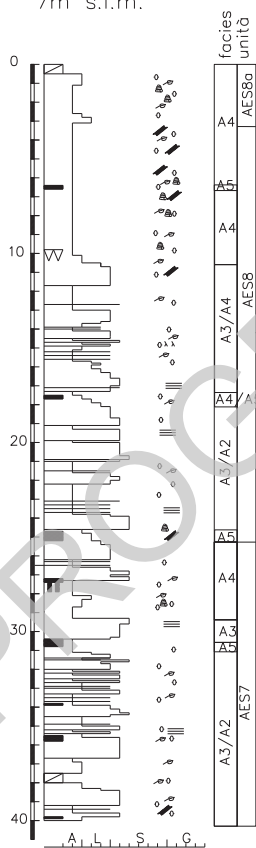
222-S5
7m s.l.m.



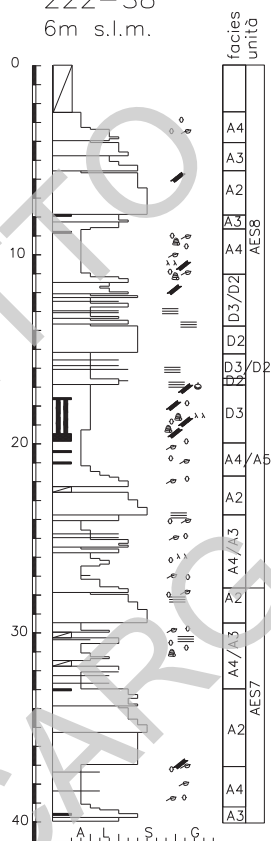
222-S6
5m s.l.m.



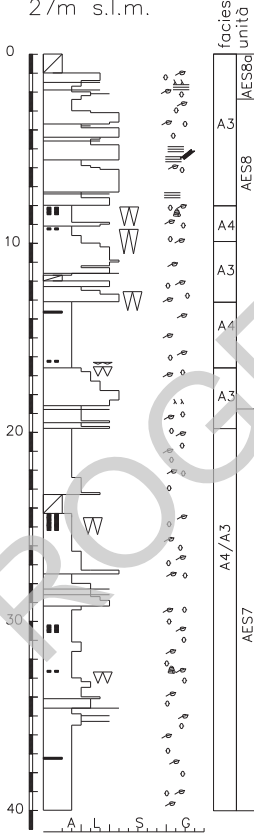
222-S7
7m s.l.m.



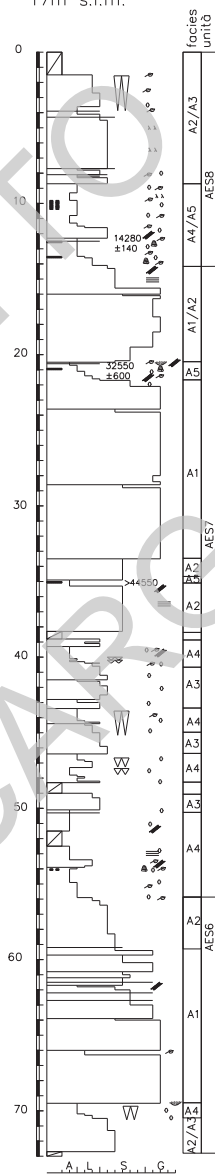
222-S8
6m s.l.m.



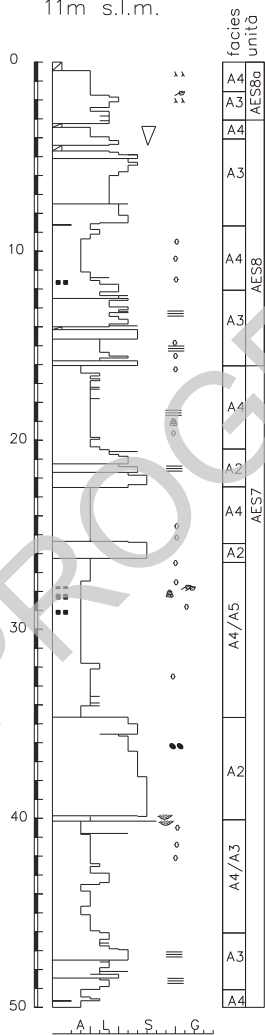
222-S9
27m s.l.m.



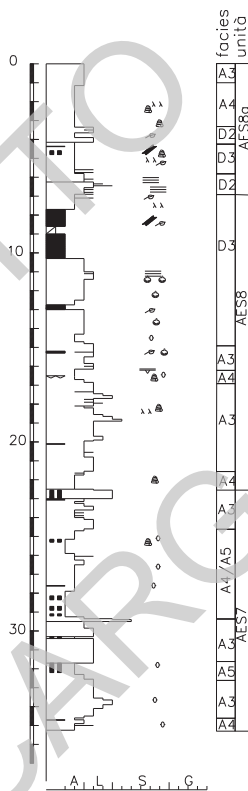
222-S10
17m s.l.m.



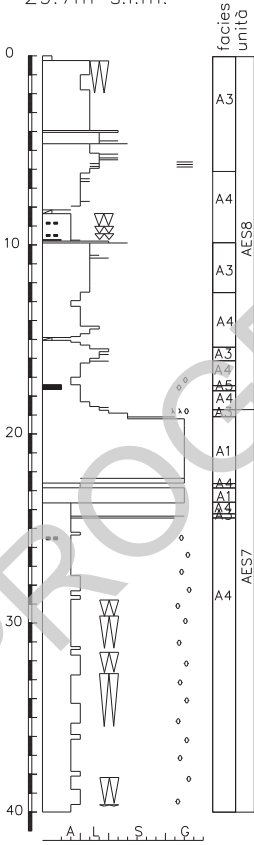
222 - S11
11m s.l.m.



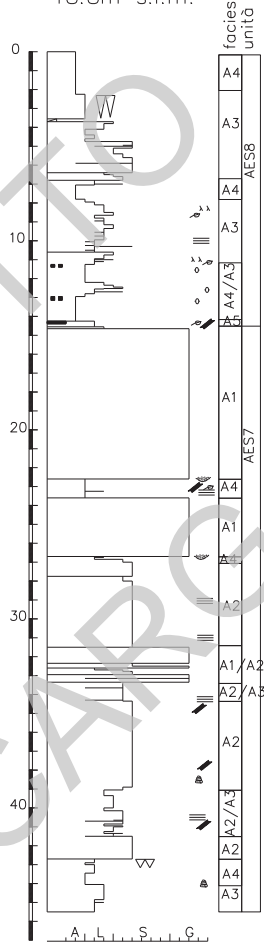
222-S12
2.8m s.l.m.



222-S13
29.7m s.l.m.

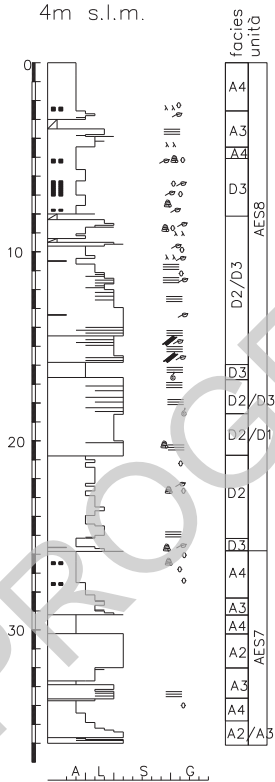


222-S14
18.8m s.l.m.



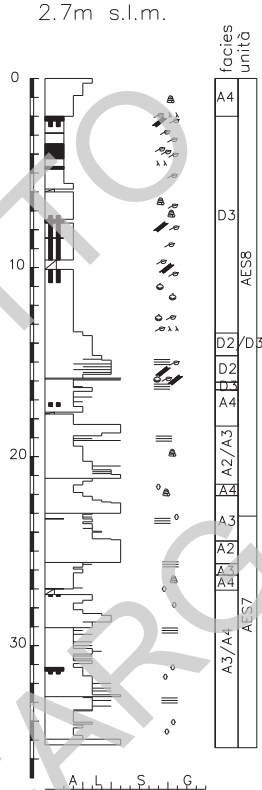
222-S15

4m s.l.m.

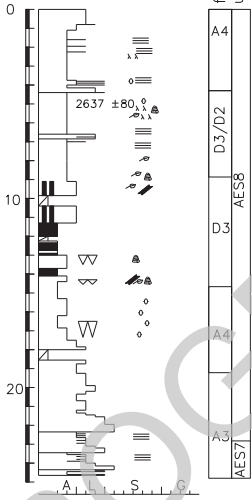


222-S16

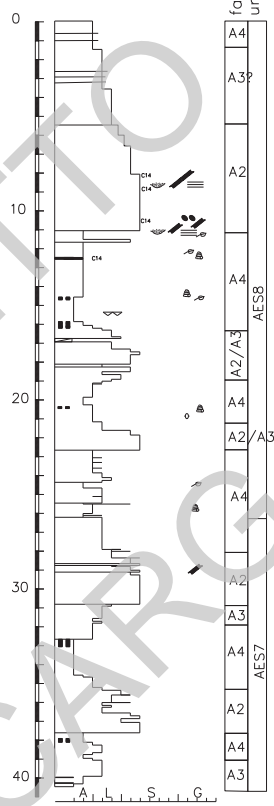
2.7m s.l.m.



222-S17
5.3m s.l.m.



222-S18
7.9m s.l.m.



APPENDICE 2

MICROPALÉONTOLOGIA E PALINOLOGIA DEL SONDAGGIO
PROFONDO 222-S2

1. - MICROPALÉONTOLOGIA (a cura di M. L. Colalongo e F. Fiorini)

Nella presente appendice sono riassunti i dati micropaleontologici a Foraminiferi bentonici ed Ostracodi emersi dall'esame delle associazioni microfaunistiche rinvenute nel sondaggio a carotaggio continuo 222-S2, per il quale sono stati analizzati 156 campioni col fine di individuare la distribuzione dei *taxa* considerati. Dall'analisi integrata della distribuzione e della frequenza relativa dei Foraminiferi e degli Ostracodi nei singoli campioni prelevati lungo i 157 metri di sondaggio, si sono potuti riconoscere quattro diversi gruppi di associazioni microfaunistiche come definite in AMOROSI *et alii* (2004) che hanno fornito precise indicazioni paleoambientali e informazioni indirette sulle oscillazioni relative del livello del mare negli ultimi 230 mila anni circa.

Le singole associazioni, e le loro ulteriori suddivisioni, verranno elencate e descritte qui di seguito e per ognuna di esse saranno indicate le specie frequenti e quelle localmente presenti. Si è utilizzata la lettera **F** per l'associazione "freshwater", che attualmente si rinviene in ambiente lacustre o di palude dulcicola; la lettera **B (Ba-d)** per le associazioni "brackish" di palude salmastra, baia o laguna; la lettera **M (Ma-b)** per quelle tipiche di acque marine e la lettera **R** per indicare faune rimaneggiate o trasportate. La localizzazione stratigrafica delle associazioni individuate all'interno del sondaggio analizzato è riportata in figura 28.

SONDAGGIO 222 - S2

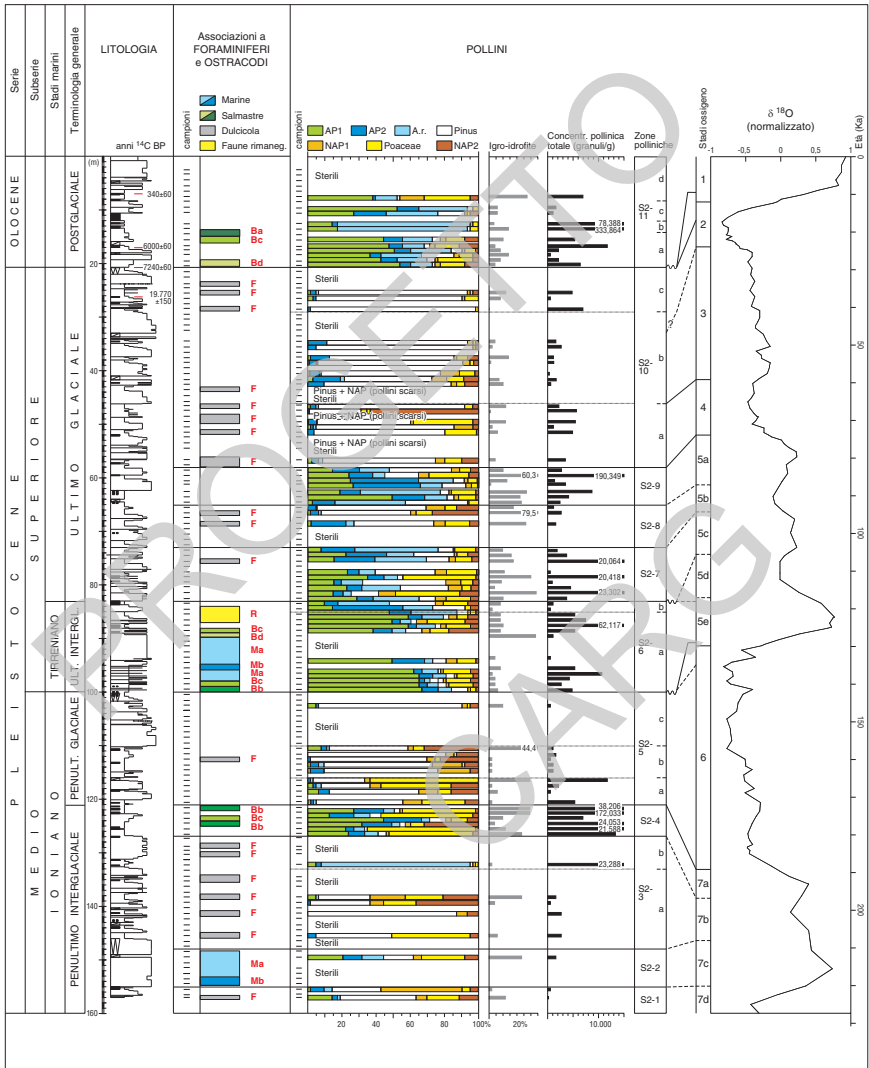


Fig. 28 - Micropaleontologia del sondaggio a carotaggio continuo 222-S2. Associazioni faunistiche (Foraminiferi e Ostracodi): F, Ba, Bb, Bc, Bd, Ma, Mb ed R. Raggruppamenti floristici (pollini): AP1, AP2, A.r., NAP1, NAP2 (tab. 3); le percentuali sono calcolate escludendo le igro-idrofite dalla somma di base. Le biozone polliniche sono correlate con gli stadi isotopici marini dell'Ossigeno desunti dalla curva del $\delta^{18}O$ in Martinson et alii (1987), tenendo conto della natura lacunosa del record sedimentario. Le datazioni al ^{14}C non sono calibrate.

1.1. - ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI E OSTRACODI

Associazione F - *Taxon* dominante: *Candona* spp.

Si rinviene nelle argille di piana inondabile e nei livelli caratterizzati da torbe.

Questa associazione, che può essere più o meno diversificata, è caratterizzata esclusivamente da Ostracodi tipicamente ipoalini appartenenti al genere *Candona* [prevalentemente *C. neglecta* Sars e *C. angulata* (G.W. Müller)]. Subordinatamente si trovano *Cyclocypris laevis* (O.F. Müller), *C. ovum* (Jurine), *Cypria ophthalmica* (Jurine), *Cypridopsis vidua* (O.F. Müller), *Cytherissa lacustris* (Sars), *Ilyocypris bradyi* Sars, *I. gibba* (Ramdohr), *Pseudocandona* aff. *P. sucki* (Hartwig) e *Limnocythere inopinata* (Baird).

Associazione Ba - *Taxon* dominante: *Trochammina inflata* (Montagu)

Questa associazione si rinviene esclusivamente in sedimenti fini molto ricchi di materia organica.

L'associazione è caratterizzata dalla presenza quasi esclusiva del foraminifero agglutinante *Trochammina inflata*, che spesso ne costituisce il 100%. Le specie *Ammonia tepida* (Cushman) e *A. parkinsoniana* (d'Orbigny) si rinvencono in questa associazione solo localmente e sempre con individui di piccola taglia e in bassissime percentuali. Gli Ostracodi sono pressoché assenti.

Associazione Bb-d - *Taxa* dominanti: *Ammonia tepida*, *A. parkinsoniana* e *Cyprideis torosa* (Jones)

L'associazione si rinviene in sedimenti argillosi.

In alcuni casi nella tanatocenosi sono prevalenti i Foraminiferi bentonici, che possono arrivare a rappresentare anche il 90% della tanatocenosi. Tra i Foraminiferi prevalgono sempre le specie *A. tepida* e *A. parkinsoniana*; sono anche presenti, se pur subordinatamente, *Criboelphidium* spp. [*C. granosum* (d'Orbigny), *C. lagunensis* (Albani & Serandrei Barbero), *C. pauciloculum* (Cushman), *C. venetum* (Albani et alii), *C. decipiens* (Costa), *C. traslucens* (Natald)], *Trochammina inflata*, *Nonion depressulum* (Walker & Jacob), *N. politum* (d'Orbigny), *Ammonia perlucida* (Heron-Allen & Earland) e rari *Miliolidae* spp.

In altri casi la microfauna a Foraminiferi, oltre che essere oligotipica, presenta un basso numero di individui mentre sono prevalenti gli Ostracodi, sempre caratterizzati da alte percentuali di *Cyprideis torosa* e - secondariamente - da *Loxococoncha elliptica* Brady, *Leptocythere lagunae* G. Hartmann e *Cytherissa lacustris* (Sars). Sono inoltre presenti basse percentuali di *Leptocythere bacescoi* (Rome), *L. cf. L. multipunctata* (Seguenza), *Loxococoncha exagona* Bonaduce et alii e *L. stellifera* (G. W. Müller).

La distinzione tra le associazioni **Bb**, **Bc** e **Bd** è stata definita in base alla diminuzione progressiva della percentuale dell'Ostracode salmastro *Cyprideis torosa* rispetto alla fauna totale; la maggiore percentuale dei Foraminiferi opportunisti indica generalmente un maggior influsso marino nell'ambiente considerato, come si verifica nella porzione più esterna di una baia o laguna.

Associazione Ma-b - *Taxa* dominanti: *Ammonia tepida*, *A. parkinsoniana*, *Criboelphidium* spp., *Semicitherura* spp., *Pontocythere turbida* (G. W. Müller) e *Loxoconcha stellifera*

L'associazione si rinviene in sedimenti argillosi, in alternanze argilla-sabbia e in sabbie.

I Foraminiferi bentonici che caratterizzano questa associazione sono le specie opportuniste *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*, sempre presenti con elevate percentuali fino a costituire - in alcuni casi - la quasi totalità della tanatocenosi a Foraminiferi (80-90%). In tal caso l'associazione viene indicata con la sigla **Ma**. Sono inoltre presenti, in percentuali variabili, *Criboelphidium* spp. [*C. granosum*, *C. lidoensis* (Cushman), *C. poeyanum* (d'Orbigny), *C. decipiens*, *C. pauciloculum*, *C. semistriatum* (d'Orbigny), *C. excavatum* (Terquem)], *Elphidium advenum* (Cushman), *Nonion depressulum* e *N. politum*. Localmente possono essere presenti anche alcuni Miliolidae [*Miliolinella elongata* Kruit, *M. subrotunda* (Montagu), *Triloculina affinis* (d'Orbigny), *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus), *Q. stelligera* Schlumberger, *Adelosina cliarensis* (Heron-Allen & Earland) e *A. longirostra* (d'Orbigny)], rappresentati per lo più da individui di piccole dimensioni.

L'ostracofauna è dominata da *Semicitherura incongruens* (G. W. Müller), *Pontocythere turbida*, *Loxoconcha stellifera*, e, subordinatamente, da *S. acuticostata* (Sars), *S. costata* (G. W. Müller), *S. rarecostata* Bonaduce et alii, *Neocytherideis fasciata* (Brady & Robertson), *Loxoconcha exagona*, *L. rhomboidea* (Fisher), *L. rubritincta* Ruggieri, *L. tumida* Brady, *L. elliptica* Brady, *Leptocythere* cf. *L. multipunctata* (Seg.), *Callistocythere adriatica* (Masoli) e *C.* cf. *C. flavidofusca* (Ruggieri).

Associazione R

L'associazione si rinviene in sedimenti siltoso-sabbiosi.

E' composta da rari *taxa* provenienti da terreni più antichi e da esemplari prevalentemente rotti e mal conservati di *Ammonia parkinsoniana* e *A. tepida*, *Elphidium depressulum* Cushman, *Trichoyalus lagunae* (Silvestri) e dell'Ostracode *Cyprideis torosa* (Jones). Le ultime specie citate sono probabilmente rimosse e trasportate da ambienti circostanti marini e salmastri a seguito di eventi di tempesta.

1.2. - SIGNIFICATO PALEOAMBIENTALE DELLE ASSOCIAZIONI

Le associazioni a Foraminiferi e Ostracodi sopra descritte permettono di ben individuare depositi lacustri, palustri, di laguna o baia e marini.

L'associazione **F** è composta da Ostracodi ipoalini, testimoni di ambienti palustri o lacustri, che si rinvencono generalmente nei livelli a torbe.

L'associazione **Ba** si ritrova in sedimenti argillosi ricchi di materia organica, e contiene forme tipiche di *salt marsh*. Questa associazione è presente abitualmente nelle zone palustri situate al margine interno delle lagune e degli estuari.

L'associazione **Bb-d** contiene Foraminiferi che tollerano basse salinità e Ostracodi salmastri. Questa microfauna è tipica di baie o lagune ad acque leggermente o decisamente mesoaline. Il rinvenimento piuttosto frequente di basse diversità specifiche nei Foraminiferi e della prevalenza degli Ostracodi salmastri (che arrivano fino a caratterizzare esclusivamente l'associazione) viene attribuita a diminuzione della salinità e quindi a minore influenza di acque marine.

L'associazione **Ma-b** è caratterizzata da specie opportuniste, da una bassa diversità specifica e - in alcuni casi - da Foraminiferi di piccole dimensioni. Tali caratteristiche sono abbastanza tipiche di ambienti marini infralitorali a influenza fluviale, con fondali fini o mediamente sabbiosi tipica, ad esempio, di ambienti di prodelta, dove si registrano percentuali molto elevate di Foraminiferi opportunisti che tollerano basse salinità e rapide variazioni di questa. Specie come *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana* in casi di estremo stress di salinità possono arrivare a caratterizzare la totalità della microfauna (associazione **Ma**).

1.3. - DISTRIBUZIONE DELLE ASSOCIAZIONI ALL'INTERNO DEL SONDAGGIO E INTERPRETAZIONE PALEOAMBIENTALE

La distribuzione delle associazioni attraverso i 157 m di sedimento che caratterizzano il sondaggio 222-S2 viene di seguito descritta a partire dai depositi più antichi.

La base del sondaggio (dal m 157,00 al m 155,50) è caratterizzata da depositi continentali: al m 157,00 è infatti presente l'associazione a Ostracodi dulcicoli (**F**). Su questi depositi, da 154,50 m a 148,35 m, si sovrappongono i primi sedimenti marini rinvenuti nella parte più bassa del sondaggio: questo intervallo è caratterizzato dall'associazione **M(a-b)** a Foraminiferi e Ostracodi tipica di ambiente marino marginale a influenza fluviale come dimostrato dalla forte abbondanza di *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*.

Dal m 147,40 al m 125,50, si rinviene di nuovo un intervallo formato da depositi continentali. I campioni analizzati all'interno di questo intervallo risultano infatti essere sterili o caratterizzati da un'ostracofauna tipica di acque dolci (associazione **F**). Questa ostracofauna, costituita per la maggior parte da specie appartenenti al genere *Candona*, viene rinvenuta nei seguenti campioni: 145,50, 141,25, 138,25, 135,20, 130,10, 128,80, caratterizzati da sedimenti fini nella maggior parte dei casi ricchi di materia organica.

Tra 124,50 e 121,60 m si rinviene un intervallo in cui è presente una microfauna caratterizzata da Foraminiferi che tollerano basse salinità o Ostracodi di acque salmastre (principalmente *Cyprideis torosa*) in diverse percentuali relative: queste associazioni **Bb-c-d** sono tipiche di ambiente di baia o laguna.

L'intervallo da m 120,45 a m 103,55 è formato quasi esclusivamente da campioni sterili attribuibili nuovamente a depositi alluvionali, come dimostrato anche dal rinvenimento (a 112,50 m) di una microfauna a Ostracodi dulcicoli.

Tra 102,55 m e 98,55 m, la microfauna a Foraminiferi e Ostracodi è caratteristica di acque salmastre e quindi di ambienti di baia o laguna (associazione **Bb**).

A questi depositi si sovrappone un intervallo (da m 97,55 a m 90,50) caratterizzato dalle associazioni microfaunistiche marine **Ma-b**. Tra 89,55 m e 88,55 m, la microfauna è caratteristica di ambiente lagunare (associazione **Bd**). Da m 88 circa a m 84, dopo un sottile livello sterile, si rinvencono microfaune fortemente mal conservate e rimaneggiate prevalentemente costituite da taxa provenienti da ambiente salmastro (associazione **R**).

Dal m 83,50 al m 36,50 si deposita un ampio intervallo di sedimenti alluvionali; i campioni prelevati in questo intervallo risultano infatti essere sterili o caratterizzati da ostracofauna dulcicola.

Tra 28,40 m e 23,80 m rinvencono livelli caratterizzati dall'associazione dulcicola **F**.

A 20,35 m, 19,45 m e 15,55 m, si rinviene una microfauna tipica di ambienti lagunari o di baia (associazione **Bc-d**). A questo intervallo, al m 14,55, si sovrappone un livello caratterizzato da un'associazione di palude salmastra (associazione **Ba**).

Gli ultimi 13,50 metri del sondaggio sono nuovamente caratterizzati da campioni sterili.

La successione analizzata risulta quindi essere composta principalmente da sedimenti continentali. A questi si alternano depositi caratterizzati da microfau-ne di ambienti paralici e marino-marginali attribuibili a ingressioni marine.

2. - POLLINI (a cura di F. Fusco)

Il sondaggio 222-S2 copre all'incirca gli ultimi 230 mila anni. Come è noto, nell'arco di questo lungo tempo si sono verificate modificazioni climatiche ed ambientali di così forte intensità da sconvolgere profondamente l'aspetto della vegetazione, la sua composizione e, di conseguenza, il paesaggio: intere foreste si svilupparono durante i periodi caldi e furono smantellate dai rigori delle età glaciali.

Lo studio palinologico di 148 campioni, distanziati circa un metro l'uno dall'altro, ha reso possibile la ricostruzione delle vicissitudini della flora e della vegetazione avvenute in questo lungo arco di tempo nel settore di pianura considerato, e in queste brevi note tale storia viene restituita al lettore così come "narrata" dai granuli pollinici un tempo prodotti da quelle foreste.

2.1. - MATERIALI E METODI

I campioni sono stati prelevati dalle porzioni centrali ed indisturbate dei sedimenti carotati. Ogni subcampione, del peso di circa 10 g, è stato asciugato in forno a 40°C e trattato nel Laboratorio Incoerenti del Dipartimento di Scienze della Terra di Bologna seguendo il metodo convenzionale (HCl 20% a freddo,

HF 40% a freddo, HCl 20% a caldo, KOH 10% a caldo, esametafosfato di sodio (M).

La concentrazione pollinica, cioè il numero di granuli di polline per grammo di sedimento, è stata calcolata introducendo all'inizio del trattamento una pasticca contenente un numero noto di spore di *Lycopodium* sp. I taxa pollinici sono stati raggruppati come in tabella 3.

Tab. 3 - *Taxa pollinici rinvenuti nei sondaggi 222-S2, 222-S4 e 222-S6 raggruppati secondo le affinità ecologico-climatiche dei corrispondenti attuali (cfr. ZANCHERI, 1976; PIGNATTI, 1982, 1998). AP1, latifoglie arboree decidue relativamente termofile di pianura, di collina e sub-montane; AP2, alberi montani di climi temperato fresco-freddi ed umidi; A.-r., alberi di ambienti ripariali e golenali; NAP1, elementi non-arborei con scarse peculiarità ecologico-climatiche; NAP2, elementi non-arborei legati a climi e/o ad ambienti steppici ed aperti, talvolta salmastrici.*

AP1	Pinus	
<i>Acer</i>	<i>Pinus</i>	cf. <i>Scutellaria</i>
<i>Betula</i>	<i>Pinus</i> t. piccolo	cf. <i>Sonchus</i>
<i>Carpinus</i> t. <i>betulus</i>		<i>Smiranium</i>
<i>Carpinus</i> t. <i>orientalis</i>	NAP1	<i>Thalictrum</i>
cf. <i>Castanea</i>	<i>Aconitum</i>	<i>Umbelliferae</i> (Apiaceae)
<i>Corylus</i>	<i>Alchemilla</i>	<i>Urtica</i>
<i>Frangula</i>	<i>Aromaticae</i>	
<i>Fraxinus</i>	<i>Campanulaceae</i>	Poaceae
<i>Hedera</i>	t. <i>Cannabis</i>	Poaceae non-coltivate
<i>Ilex</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Poaceae coltivate o > di 50 µm
<i>Jugland.</i> 3-porate ind.	<i>Centaurea</i>	
<i>Juglans</i>	<i>Cephalaria</i>	NAP2
<i>Olea</i>	<i>Cirsium</i>	<i>Chenopodiaceae</i>
<i>Ostrya</i>	<i>Cistus</i>	<i>Armeria</i>
<i>Pistacia</i>	Compositae Liguliflorae	cf. <i>Limonium</i>
<i>Phillyrea</i>	Compositae Tubuliflorae	<i>Artemisia</i>
<i>Pterocarya</i>	cf. <i>Coronilla</i>	<i>Ephedra</i> t. <i>distachya</i>
<i>Quercus</i> <i>decidue</i>	<i>Cruciferae</i> (Brassicaceae)	<i>Ephedra</i> t. <i>fragilis</i>
<i>Quercus</i> <i>sempreverdi</i>	cf. <i>Echium</i>	<i>Helianthemum</i>
<i>Sambucus/Viburnum</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Hippophae</i> cf. <i>ramnoides</i>
<i>Tilia</i>	<i>Euphorbia</i>	t. <i>Juniperus</i>
<i>Tilia</i> t. <i>piccolo</i>	<i>Filipendula</i>	Inaperturati (cf. Cupressac.
<i>Ulmus</i>	t. <i>Galium</i>	p.p.)
<i>Vitis</i>	<i>Helianthemum</i>	
<i>Zelkova</i>	<i>Labiatae</i> (Lamiaceae)	Igro-idrofite
	<i>Leguminosae</i> (Fabaceae)	<i>Cyperaceae</i>
AP2	<i>Liliaceae</i>	<i>Juncaceae</i>
<i>Abies</i>	<i>Malvaceae</i>	<i>Lemna</i>
<i>Abies</i> t. <i>piccolo</i>	cf. <i>Mentha</i>	<i>Lythrum</i> cf. <i>portula</i>
<i>Abies</i> cf. <i>nordmanniana</i>	<i>Plantago</i>	<i>Lythrum</i> cf. <i>salicaria</i>
<i>Fagus</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Myrica</i>
<i>Picea</i>	<i>Primulaceae</i>	<i>Myriophyllum</i> cf. <i>spicatum</i>
<i>Larix</i>	<i>Ranunculaceae</i>	<i>Myriophyllum</i> cf. <i>verticillatum</i>
	<i>Rosaceae</i>	<i>Nuphar</i>
A.-r.	<i>Rumex</i>	<i>Nymphaea</i>
<i>Alnus</i>	<i>Sanguisorba</i>	<i>Potamogeton</i>
<i>Salix</i>	<i>Scabiosa</i>	t. <i>Sparganium</i>
<i>Populus</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Typha</i> cf. <i>latifolia</i>

2.2. - RISULTATI

Sono stati riconosciuti in totale 94 morfotipi pollinici, di cui 36 riferibili a taxa arborei e 58 a taxa non-arborei. Il numero medio di granuli pollinici contati per campione è di circa 360, ed in particolare di circa 470 negli intervalli a dominanza di latifoglie arboree, e di circa 200 in quelli a dominanza di *Pinus*. Per motivi di spazio, in queste note vengono rappresentati il diagramma pollinico cumulativo per gruppi e quello delle concentrazioni polliniche totali.

2.3. - CONSIDERAZIONI PALEOVEGETAZIONALI E PALEOCLIMATICHE

La serie pollinica qui messa in luce (si veda fig. 28.), può essere suddivisa in biozone polliniche aventi caratteristiche nettamente contrastanti. Alcune sono ricche di taxa e dominate dalle latifoglie arboree (*API*), come ad es. le zone polliniche *S2-6* ed *S2-11*; altre, invece, come le zone *S2-1*, *S2-3*, *S2-5*, *S2-8*, *S2-10* sono composte da un numero ridotto di taxa, prevalentemente non-arborei (*NAP*), nelle quali *Pinus* risulta dominante.

Le prime testimoniano lo sviluppo di foreste temperate per l'instaurarsi di condizioni climatiche calde ed umide di tipo interglaciale. Il carattere interglaciale è svelato principalmente dalle più alte percentuali medie delle *API* e dal più alto numero dei taxa. Anche le concentrazioni polliniche totali possono raggiungere valori alti, indicando lo sviluppo di una densa copertura vegetazionale. Le altre zone, invece, testimoniano lo sviluppo di formazioni vegetazionali aperte di tipo erbaceo-arbustivo. Esse si associano generalmente ai valori medi più bassi delle concentrazioni polliniche totali, da cui si desume uno scarso e discontinuo ricoprimento vegetazionale. Un paesaggio di tale aspetto, deforestato, aperto, con rari alberi sparsi (gli elementi arborei termofili, *API*, difatti scarseggiano o mancano del tutto) era dovuto a condizioni climatiche glaciali, proibitive per le foreste. Indicatori di aridità come *Artemisia* (dominante nel gruppo delle *NAP2*) ed *Ephedra* mostrano sensibili picchi percentuali, confermando in questo modo il particolare rigore climatico.

Un terzo tipo di biozone polliniche mostra caratteristiche intermedie tra le due descritte. Nelle zone *S2-2*, *S2-4*, *S2-7*, *S2-9*, infatti, si osserva un generale equilibrio tra i vari gruppi di taxa: non si rileva né una dominanza delle arboree termofile, né delle formazioni a *Pinus* e *NAP*. Queste zone possono essere considerate come l'espressione vegetazionale di condizioni climatiche interstadiali, intermedie cioè tra glaciali ed interglaciali.

I due tipi di biozone rappresentano un'alternanza ciclica e ripetuta tra una vegetazione forestata ed una non forestata legata alle profonde variazioni climatiche cicliche glaciali/interglaciali avvenute nel Pleistocene medio-superiore.

Essa è stata già messa in evidenza in altre serie polliniche della Pianura Padana (MULLENDERS *et alii*, 1996; AMOROSI *et alii*, 1999b, 2004; FUSCO, 1999 e in stampa) e in numerose altre serie polliniche del resto del Paese e in Europa

(si veda ad es.: FOLLIERI *et alii*, 1989; REILLE *et alii*, 2000, sintesi di lunghe serie polliniche). Tra queste ultime e la stratigrafia isotopica dell'ossigeno (ottenuta da successioni marine, cfr. MARTINSON *et alii*, 1987) è stata stabilita una corrispondenza per gli ultimi 500.000 anni (TZEDAKIS *et alii*, 1997).

2.4. - CONSIDERAZIONI CRONOSTRATIGRAFICHE E CORRELAZIONE CON GLI STADI ISOTOPICI DELL'OSSIGENO

Sulla base di questa corrispondenza, si può analogamente tentare di correlare la serie pollinica del sondaggio 222-S2 con gli stadi isotopici dell'ossigeno.

Le due espansioni forestali principali, una nella porzione superiore (S2-11) ed una nella porzione centrale (S2-6) sono precedute entrambe da una fase a vegetazione aperta dominata da *Pinus* e *NAP* (S2-10 e S2-5).

L'intera zona S2-11 ha un'età olocenica, come indicano tre datazioni al ^{14}C e la mancanza di elementi floristici "Terziari"; essa è riferibile allo stadio isotopico 1.

La zona pollinica sottostante (S2-10), ricca di *Pinus* e *NAP*, è riferibile all'ultimo glaciale, come indica una datazione al ^{14}C che ha restituito un'età non calibrata di 19.770±160 anni dal presente in prossimità del metro 26.

Il limite tra la zona S2-10 e la zona S2-11, posto al metro 21, segna quindi il passaggio dall'ultimo glaciale all'interglaciale attuale. Tale passaggio appare sensibilmente improvviso poiché non si nota alcuna dinamica forestale legata alla ricolonizzazione del territorio durante la deglaciazione. Ciò induce a ritenere che tra le zone S2-10 e S2-11 esista una lacuna che comprende tutto il Tardiglaciale e i primi millenni dell'Olocene. Non ci sono elementi per stabilire con esattezza la posizione del limite tra stadio 2 e 3, a causa di numerosi livelli sterili. Tuttavia gli spettri pollinici della subzona S2-10b mostrano una maggiore abbondanza di elementi arborei rispetto alla S2-10c, nella quale *Pinus* risulta eccezionalmente dominante ed il numero di taxa è minore. La zona S2-10b rappresenta quindi l'espressione delle brevi oscillazioni climatiche in senso interstadiale che hanno caratterizzato l'ultimo glaciale, ed in particolare lo stadio isotopico 3 (v. DANSGAARD *et alii*, 1993), mentre la subzona S2-10c di conseguenza esprime parte dello stadio 2, più rigido del 3.

L'espansione forestale marcata alla base della zona S2-6 mostra le più alte percentuali medie degli elementi arborei termofili (*API*), maggiori anche di quelle della zona S2-11, olocenica. Esse sono dovute principalmente alla quercia, mentre gli alberi montani (faggi e abeti) sono ridotti, così come anche *Pinus* e *NAP*; questa culminazione è la prima al di sotto di quella olocenica. Nelle lunghe serie polliniche italiane ed europee il primo marcato sviluppo delle foreste al di sotto di quello olocenico viene interpretato come l'espressione dell'ultimo interglaciale, chiamato Eemiano o Tirreniano s.s., un interglaciale più caldo dell'attuale nel quale si ebbe una più vasta diffusione delle foreste. Esso viene generalmente correlato con il sottostadio isotopico 5e, al quale dunque anche

la zona pollinica *S2-6* può essere riferita. Nella subzona *S2-6b* il picco di *AP2* dovuto all'abete bianco (*Abies*) segna l'inizio della parte terminale dell'interglaciale.

Successivamente, le curve paleoclimatiche mettono in evidenza una tendenza al progressivo raffreddamento verso condizioni climatiche glaciali, che si manifestano attraverso episodi temperati di intensità e durata via via sempre più modeste. I primi due di questi episodi sono tradizionalmente riferiti ai sottostadi isotopici *5c* e *5a*, durante i quali lo sviluppo delle foreste fu minore rispetto all'Eemiano. Come nelle altre lunghe serie polliniche, anche in quella di Voltana si osserva un progressivo declino della foresta termofila (*API*), che si esprime dapprima in due sue minori espansioni nelle zone *S2-7* e *S2-9* per arrivare, successivamente, alla quasi totale scomparsa nella zona *S2-10*. Le zone *S2-7* e *S2-9* possono essere quindi riferite ai sottostadi isotopici *5c* e *5a*, rispettivamente.

Il limite tra la zona *S2-5* e la *S2-6*, posto all'incirca in corrispondenza del metro 100, segna il passaggio da una vegetazione aperta con comunità erbaceo-arbustive a foreste ricche di elementi, vale a dire da un glaciale ad un interglaciale. Analogamente a quanto descritto sopra, tale passaggio appare sensibilmente improvviso; non si osserva cioè alcuna dinamica vegetazionale legata alla ricolonizzazione durante la deglaciazione. Anche in questo caso, si può supporre l'esistenza di una lacuna tra la zona *S2-5* e la zona *S2-6*, che abbraccia le fasi più fredde e finali del penultimo glaciale e i primi millenni dell'interglaciale eemiano. La zona *S2-5*, quindi, caratterizzata da formazioni a *Pinus* e *NAP*, può essere riferita allo stadio isotopico 6, una glaciazione lunga e rigida.

L'espansione forestale della zona *S2-4* mostra un ridotto sviluppo del querceto misto (*API*). Il faggio e non la quercia costituisce un importante elemento per la costruzione delle foreste, e la sua diffusione in pianura documentata da un lato lo spostamento dalla fascia montana fino giù in pianura e dall'altro condizioni climatiche temperato-fresche ed umide. Questa zona, immediatamente sottostante alla *S2-5*, glaciale, può essere riferita quindi all'interstadiale *7a*.

La zone sottostanti, dalla *S2-3* alla *S2-1*, sebbene in più punti mostrino vari livelli sterili, rappresentano un'alternanza di periodi forestati e periodi non-forestati. Esse possono essere considerate come l'ulteriore espressione delle oscillazioni climatiche dello stadio isotopico 7. In particolare la zona *S2-3* è composta da campioni sterili o pressoché sterili e da un unico campione a forte dominanza di *Alnus* che indica la vicinanza di un corso d'acqua; essa può essere riferita al sottostadio *7b*. Conseguentemente, la zona *S2-2* può riferirsi al sottostadio *7c* e la zona *S2-1* al *7d*. La presenza concomitante di taxa "Terziari" indicativi dal punto di vista crono- e palinostratigrafico (*Pterocarya*, *Juglandaceae* 3-porate ind. e *Zelkova*), rende queste biozone polliniche interessanti, poiché evidenziano una composizione palinofloristica molto simile a quella dei livelli più profondi del sondaggio 223-S17, attribuiti anch'essi allo stadio isotopico 7 (AMOROSI *et alii*, 1999b). La distribuzione nel tempo di questi elementi arborei, la loro progressiva riduzione e le loro relative estinzioni tempo-differenziate nel corso del Pleistocene, compongono un quadro palinostratigrafico molto utile per un'attribuzione

cronologica di livelli profondi in mancanza di dati geocronologici. In studi relativi ad aree limitrofe al Foglio 222 (cfr. AMOROSI *et alii*, 2002), questa progressiva estinzione dei taxa arborei “Terziari” è ben documentata e caratterizza, assieme alle facies polliniche e sedimentarie, i vari cicli climatici e sedimentari.

2.5. - CONSIDERAZIONI PALEOAMBIENTALI GENERALI

In tutta la serie pollinica si notano sempre buone percentuali di elementi come gli alberi ripariali (in particolare *Alnus*), le Poaceae e le igro-idrofite. La curva delle Poaceae qui parallelizza generalmente quella delle igro-idrofite.

L'abbondanza di questi elementi è dovuta oltre che alle variazioni nella disponibilità di acqua legate alle ciclicità climatiche, anche a fattori ambientali locali come la vicinanza di un corso d'acqua.

Lontananza e vicinanza di un corso d'acqua, rispetto alla localizzazione del sondaggio 222-S2, si sono succedute più volte negli ultimi 7000 anni. Il corso dei fiumi si è modificato più volte portandosi da posizioni relativamente lontane (subzona S2-11a) a posizioni molto prossime al sito del sondaggio (subzona S2-11b), come documentano le altissime percentuali degli elementi ripariali, per poi allontanarsi di nuovo. Nelle subzone S2-11c e d, infatti, le percentuali degli alberi ripariali scendono sensibilmente e nella zona S2-11d si riscontrano i più alti valori di *Fraxinus* cf. *oxycarpa* (non raffigurati, ma compresi in *API*). Questo tipo di frassino fece assumere al bosco a ridosso del sondaggio un carattere planiziale, simile a quello dell'attuale Foresta Panfilia, situata nei pressi di S. Agostino (FE) in un'area golenale del Fiume Reno, dove i frassini sono tra gli alberi dominanti con un ricco sottobosco a Poaceae e igrofite (Cyperaceae). I picchi percentuali delle Poaceae e delle igro-idrofite rinforzano di fatto questa idea.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 3**PALINOLOGIA DEI SONDAGGI 222-S4 E 222-S6**

(a cura di M. Ricci Lucchi)

In questa appendice sono riportate considerazioni generali sull'evoluzione paleovegetazionale e paleoclimatica desunta dallo studio palinologico eseguito su sedimenti dei sondaggi superficiali 222-S4 - Filo e 222-S6 - Conselice. I risultati sono sintetizzati nei diagrammi pollinici cumulativi dei principali tipi di piante raggruppati per caratteristiche ecologiche simili e nei diagrammi delle concentrazioni polliniche totali, che danno indicazioni sulla densità della copertura vegetale. Dall'interpretazione di questi diagrammi è stato possibile suddividere l'intervallo stratigrafico compreso nei due sondaggi in 4 *zone polliniche*, ciascuna delle quali indica aspetti della vegetazione legati a particolari condizioni paleoclimatiche. Inoltre, le datazioni assolute con il metodo del ^{14}C , disponibili per entrambi i sondaggi (si vedano tab. 2, figg. 29 e 30), hanno permesso di riferire gli eventi paleoclimatici riconosciuti a eventi noti a scala globale e, in particolare, all'ultimo ciclo glaciale/interglaciale.

1. - MATERIALI E METODI

I campioni sono stati prelevati dalle porzioni indisturbate, centrali, dei sedimenti carotati tramite bottigliette di plastica richiudibili. Sono stati asciugati in stufa a 50°C per una notte e pesati in quantità variabili da 2 a 5 g. Il trattamento chimico è stato eseguito nel Laboratorio Incoerenti del Dipartimento di Geologia seguendo il metodo convenzionale (Appendice 2). La concentrazione pollinica è stata calcolata col metodo delle spore esotiche di *Lycopodium* sp. I taxa pollinici

SONDAGGIO 222 - S6

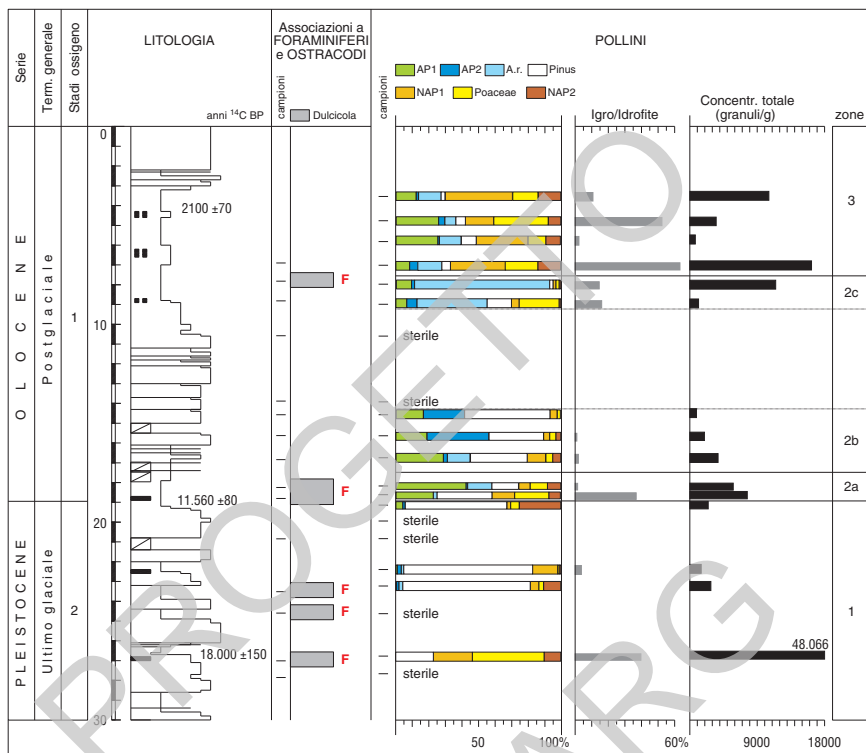


Fig. 30 - Micropaleontologia dei sondaggi a carotaggio continuo 222-S6. Associazioni faunistiche (Foraminiferi, Ostracodi): **F**, **Bc**, **Bd**. Raggruppamenti floristici (pollini): **API**, **AP2**, **A.r.**, **NAPI**, **NAP2** (tab. 3); le percentuali sono calcolate escludendo le igro-idrofite dalla somma di base. Le datazioni al ^{14}C non sono calibrate.

apertura forestale vera e propria. Il clima doveva essere freddo e arido tale da non consentire lo sviluppo di una folta vegetazione. All'interno di questo andamento climatico generale, nel sondaggio 222-S4, si riconoscono piccole oscillazioni tra un clima più o meno arido (corrispondenti, rispettivamente, a picchi delle piante steppiche **NAP2** e lievi espansioni delle conifere montane **AP2**), che potrebbero essere messe in relazione ad alternanze stadiali-interstadiali durante l'ultimo periodo glaciale.

Il paesaggio vegetazionale raffigurato dalla *sottozona Ib*, individuata solo nel sondaggio 222-S4, è molto simile a quello della parte precedente (*sottozona Ia*) con la differenza che il pino e le conifere montane subiscono una sostanziale riduzione mentre tra le aride steppe, dominate dalle piante del gruppo **NAP2**, trova maggiore spazio la betulla come unica latifolia (**API**). Questa particolare

associazione di piante segnala un leggero cambiamento delle condizioni climatiche, nonostante questa sottozona appartenga ancora a un periodo glaciale.

La *zona 2* è meglio caratterizzata nel sondaggio 222-S6, mentre è scarsamente rappresentata nel sondaggio 222-S4 dove la presenza di sabbie litorali impedisce la conservazione del polline a causa della granulometria grossolana di questi sedimenti. Dal punto di vista vegetazionale, questa zona è dominata dalle piante arboree più termofile (gruppo *API*) e da un aumento delle concentrazioni polliniche, mentre il pino e le piante erbacee diminuiscono in percentuale. La maggiore densità della copertura vegetale e l'espansione delle foreste a carattere mesofilo indicano un clima più caldo e umido del precedente, tipico di un interglaciale. All'interno di questa zona si riconoscono tre sottozone, corrispondenti a minori cambiamenti dell'associazione vegetale dominante che potrebbero essere indicativi di altrettante oscillazioni climatiche. La prima, corrispondente alla *sottozona 2a*, indica un clima ancora fresco per la presenza del pino in associazione con le latifoglie. La seconda (*sottozona 2b*) è caratterizzata dall'espansione dell'abete bianco che può essere messa in relazione a condizioni di clima temperato fresco e umido. La terza (*sottozona 2c*) è caratterizzata da un aumento esponenziale degli alberi ripariali (A.r), in particolare di *Alnus*, e dalla drastica riduzione di pino e abete. Corrispondentemente, anche le concentrazioni polliniche subiscono un netto incremento. Tutto ciò può essere messo in relazione con la presenza di un corso fluviale in prossimità del sito del sondaggio, ma può anche sottolineare un aumento generalizzato di umidità.

La *zona 3* ha caratteristiche quasi identiche nei due sondaggi e indica la presenza di un paesaggio antropizzato, come suggerito dalla presenza di alcune piante erbacee infestanti (*Plantago*, *Polygonum*, *Apiaceae*) e coltivate (*Poaceae*). Il paesaggio è caratterizzato da praterie, coltivazioni e zone umide (aumentano infatti le igro-idrofite), mentre i boschi si riducono di estensione e cambiano leggermente composizione per la diffusione di alberi coltivati come *Castanea* e *Juglans*. Ciò può essere dovuto agli effetti dell'attività antropica ma può anche essere messo in relazione a un graduale cambiamento climatico.

3. - CRONOLOGIA E TENTATIVI DI CORRELAZIONE CON GLI STADI ISOTOPICI DELL'OSSIGENO

La fase climatica fredda e arida descritta dalla *zona 1* si riferisce all'ultimo periodo glaciale, che va da 75.000 a 10.000 anni dal presente. In particolare, una datazione ^{14}C a 24 m circa di profondità del sondaggio 222-S4 ha dato un'età non calibrata di 23.720 ± 600 anni per cui la *zona 1* dovrebbe comprendere parte dello *stadio 3* e lo *stadio 2* della curva isotopica dell'ossigeno (MARTINSON *et alii*, 1987; BENDER *et alii*, 1994). La leggera oscillazione in senso temperato del sondaggio 222-S4, rilevabile poco al di sopra dell'intervallo datato, tra 23 e 21 m circa, potrebbe corrispondere a un interstadiale riconoscibile all'interno dello *stadio 2* nelle carote di ghiaccio della Groenlandia (DANSGAARD *et alii*, 1993) chiamato

GI2.

Un'analogia oscillazione calda indicata dallo sviluppo di alcune piante acquatiche si osserva nella serie pollinica di La Grande Pile (WOILLARD & MOOK, 1982) ed è datata intorno a 20.000 anni fa (età non calibrata). Nel sondaggio 222-S6, invece, la *zona 1* è compresa tra due datazioni ^{14}C di 18.000 ± 150 e 11.560 ± 80 anni, per cui è riferibile totalmente allo *stadio 2*. L'importante cambiamento verso un clima caldo e umido, indicato dalle *zone 2* e *3*, viene riferito all'instaurarsi dell'interglaciale olocenico (o Postglaciale), che comprende gli ultimi 10.000 anni; due datazioni ^{14}C in questo intervallo hanno dato le età non calibrate di 6260 ± 130 anni in 222-S4 e 2100 ± 70 anni in 222-S6.

PROGETTO
CARG

APPENDICE 4

ANALISI PETROGRAFICHE

(a cura di A. Ceriani e A. Di Giulio)

1. - MATERIALE E METODI

Nell'ambito del rilevamento per la nuova Carta Geologica della Pianura Padana Emiliano-Romagnola, sono state effettuate analisi granulometriche e petrografiche di sabbie pleistoceniche di sottosuolo campionate nel sondaggio 222-S2, di cui sono stati studiati sei campioni: a profondità 18,8 m (deposito di retrocordone in laguna), a profondità 32,8 m e 109,9 m (depositi di canale fluviale), a profondità 90,1 m, 147,9 m e 152,7 m (depositi di cordone litorale e/o fronte deltizia).

Le indagini petrografiche e tessiturali sono state condotte al fine di caratterizzare da un punto di vista composizionale e granulometrico i campioni in esame ed evidenziarne similitudini e differenze, possibilmente identificando il/i corso/i d'acqua responsabile/i del deposito, con particolare riferimento alla distinzione tra depositi ascrivibili ai fiumi di provenienza appenninica dai depositi ascrivibili al Po. Tale distinzione assume particolare rilevanza nella costruzione di un modello geologico-idrogeologico del sottosuolo padano. Questa differenziazione si basa sul confronto dei dati composizionali derivanti dalle analisi dei campioni di sottosuolo con i campioni contenuti in un database relativo alla composizione delle sabbie attuali del Po, dei suoi affluenti e degli altri maggiori fiumi che drenano la Pianura Padana.

Su ciascuno dei sei campioni studiati è stata inizialmente effettuata un'analisi granulometrica tramite setacciatura utilizzando vagli standard ad intervallo di 1 phi, nell'intervallo compreso tra -4 e +5 phi. I parametri granulometrici fondamentali ottenuti da questa fase sono riportati in tabella 4.

Tab. 4 - Parametri granulometrici principali dei campioni del sondaggio 222-S2. I valori di cernita (espressi con il trask index) indicano delle sabbie ben cernite.

Campioni	Moda	Media		Mediana		T.I.
	mm	ϕ	mm	ϕ	mm	
18,8 m	0,125-0,25	2,83	0,14	2,32	0,19	1,28
32,8 m	0,25-0,5	2,54	0,17	1,74	0,29	1,33
90,1 m	0,125-0,25	3,40	0,10	2,70	0,15	1,35
109,9 m	0,125-0,25	3,29	0,10	2,56	0,16	1,43
147,9 m	0,125-0,25	3,23	0,10	2,61	0,16	1,27
152,7 m	0,125-0,25	3,31	0,10	2,66	0,15	1,27

La frazione compresa tra 1-2 phi (0.5-0.25 mm), separata tramite setacciatura, è stata successivamente inglobata in resina e sezionata al fine di ottenere sezioni sottili petrografiche standard per permetterne l'analisi al microscopio ottico.

L'analisi petrografica è stata condotta tramite conteggio per punti utilizzando, secondo una prassi ormai consolidata, una scheda di conteggio strutturata secondo il metodo Gazzi-Dickinson, ma attraverso la quale è comunque possibile ricalcolare anche i parametri petrologici classificativi secondo il metodo tradizionale (per una discussione sui metodi si veda DI GIULIO E VALLONI, 1992; CIBIN & DI GIULIO, 1996). Il conteggio è stato condotto fino ad ottenere, per la Frazione Principale dell'Ossatura, 250 punti per campione.

Particolare attenzione è stata posta nel dettagliare, assieme alla composizione principale, espressa dai parametri Quarzo, Feldspati, Litici+Carbonati Extra-bacinali (diagramma QFL+CE), la frazione litica a tessitura fine dell'ossatura, espressa dai parametri Litici metamorfici, Litici vulcanici, Litici silicoclastici +carbonatici (diagramma LmLvLs+C), che combinate forniscono gli elementi chiave per discriminare sabbie con diverse sorgenti.

I dati composizionali così ottenuti sono mostrati in forma di tabella assieme ai parametri petrologici principali (tab. 5); in figura 31 sono riportati, sotto forma di diagramma, i parametri petrologici chiave della Composizione Principale (fig. 31a) e della Composizione Litica dell'Ossatura (fig. 31b).

Tab. 5 - Parametri petrologici principali espressi come valore percentuale sul totale frazione d'ossatura e frazione litica. I parametri relativi ai campioni ritenuti non significativi (si veda testo) sono stati omessi. Q-F-L+C (totale grani quarzosi; totale grani feldspatici; totale grani litici silicatici a tessitura fina più carbonatici); Q-F-Rf (componente monominerale a tessitura grossolana dei grani quarzosi; componente monominerale dei grani feldspatici; totale grani litici più quarzosi a tessitura fina e carbonatici); Lm-Lv-Ls+C (grani metamorfici a tessitura fina; grani vulcanici a tessitura fina; grani silicoclastici a tessitura fina più carbonatici); Rcr-Rvo-Rse (grani plutonici e metamorfici; grani vulcanici; grani sedimentari).

Sondaggio: 222-S2	Profondità campione (m)	18,8	32,8	90,1	109,9	147,9	152,7
% Grani Essenziali / Totale Roccia		89,0	95,0	3,8	93,7	9,0	5,7
% Grani Accessori / Totale Roccia		11,0	5,0	96,2	6,3	91,0	94,3
Q - F - L+C	Q	40,8	36,4	-	39,8	-	-
	F	26,5	22,3	-	22,6	-	-
	L+C	32,7	41,3	-	37,6	-	-
Lm - Lv - Ls+C	Lm	62,4	35,3	-	30,0	-	-
	Lv	6,9	4,9	-	1,0	-	-
	Ls+C	30,7	59,8	-	69,0	-	-
Q - F - Rf	Q	27,2	22,5	-	13,1	-	-
	F	10,4	9,5	-	10,1	-	-
	Rf	62,3	68,0	-	60,1	-	-
Rcr - Rvo - Rse	Rcr	77,7	52,9	-	50,9	-	-
	Rvo	3,6	2,9	-	0,6	-	-
	Rse	18,8	44,2	-	48,4	-	-

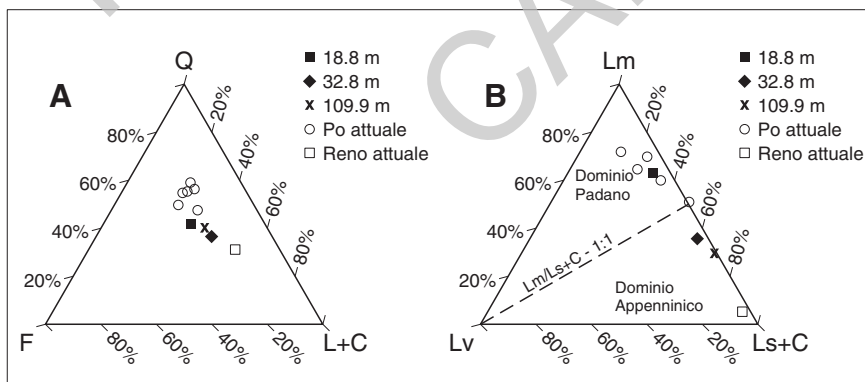


Fig. 31 - Diagrammi triangolari relativi: a) alla frazione principale d'ossatura (QFL+C) e b) alla frazione litica (LmLvLs+C). Q: quarzo totale; F: k-feldspato + plagioclasio; L: frammenti litici; C: carbonati extrabacinali; Lm: litici metamorfici; Lv: litici vulcanici; Ls: litici sedimentari. I valori riferiti ai campioni di Po e Reno attuale sono tratti da Gazzi et alii (1973) e da dati inediti di Tesi di Laurea dell'Università di Pavia.

2. - ANALISI GRANULOMETRICHE

In tabella 4 sono riportati i parametri granulometrici principali (media e cernita), necessari per descrivere in modo sintetico i caratteri tessiturali dei campioni. Inoltre, i risultati delle analisi granulometriche sono espressi tramite curve di frequenza e curve cumulative (fig. 32).

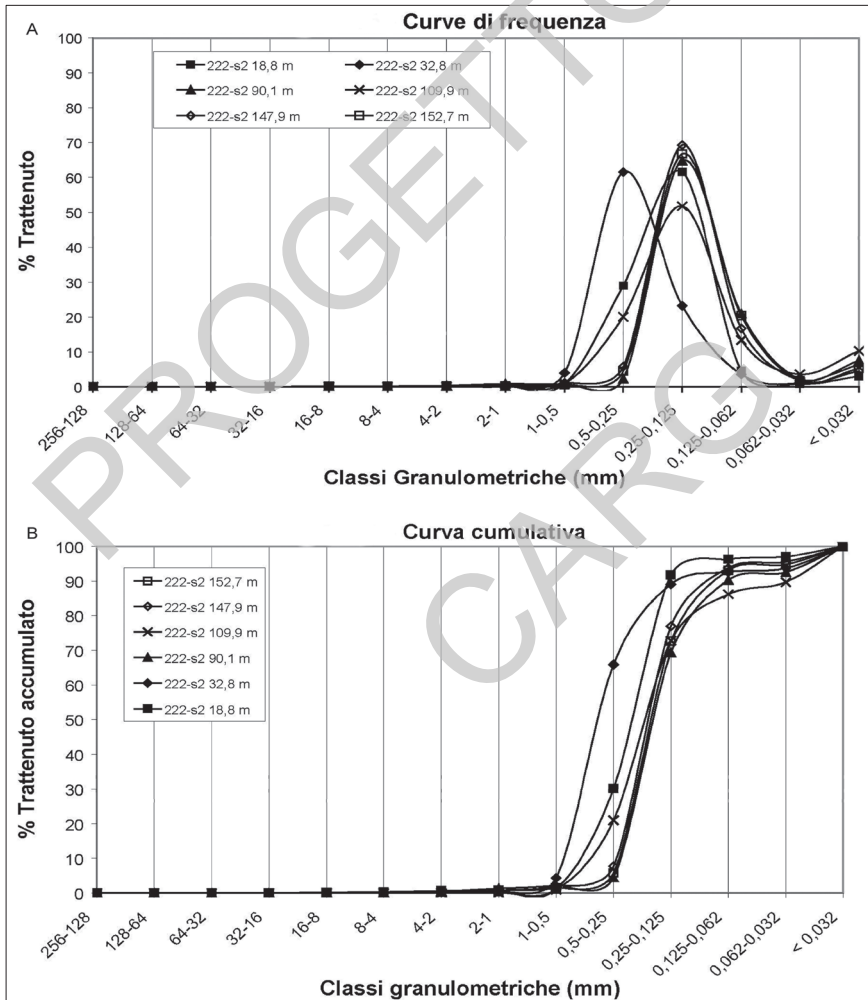


Fig. 32 - Curve granulometriche di frequenza (a) e cumulative (b) relative ai campioni del sondaggio 222-S2.

I parametri granulometrici presi in considerazione sono il diametro medio (M) delle particelle ed il grado di selezionamento (cernita) espresso tramite il *trask index* ($T.I.$).

I campioni mostrano un diametro medio relativamente basso compreso fra 0,1 e 0,17 mm, mentre i valori del *Trask Index* mettono in risalto la miglior cernita dei depositi litorali rispetto ai canali fluviali (90,1 m e 109,9 m). Le cumulative indicano inoltre un maggior spostamento verso i diametri più grossolani ed una maggiore irregolarità nella distribuzione delle classi granulometriche nei campioni di sabbie di retrocordone e canale fluviale (18,8, 32,8 e 109,9) rispetto a quelli di cordone litorale e/o fronte deltizia (90,1, 147,9 e 152,7).

3. - ANALISI PETROGRAFICHE

Sulla base di dati di bibliografia su campioni di fiumi attuali (GARZANTI *et alii*, 1988; GAZZI *et alii*, 1973; CAVAZZA *et alii*, 1993), e del confronto sia con dati analitici di campioni di sottosuolo relativi a sondaggi su Fogli adiacenti a quello in esame sia con dati di superficie su campioni di sabbie dei fiumi attuali che drenano l'area adiacente al sondaggio, i principali indicatori petrografici che hanno portato all'identificazione della petrofacies sono (DI GIULIO & VALLONI, 1992):

- 1) la Composizione Principale dell'Ossatura;
- 2) la Composizione della Frazione Litica dell'Ossatura.

In queste note illustrative vengono riportati, nei diagrammi delle figure 31a e 31b, i dati sulle sabbie attuali del Fiume Po (tra Cremona e Rovigo) e del Reno, che scorre nelle vicinanze del sondaggio indagato.

L'analisi della Composizione Principale dell'Ossatura ha evidenziato come tre campioni (90,1; 147,9; 152,2) presentino delle caratteristiche particolari per cui non è possibile attribuirne la provenienza. In tali campioni la quasi totalità di grani, nella frazione granulometrica compresa tra 0.25 e 0.5 mm, è costituita da minerali accessori (91.0-96.2% sul totale roccia), costituiti per la maggior parte da minerali fillosilicatici (miche bianche e miche scure) e bioclasti non carbonatici di origine vegetale. L'abbondanza di grani di tale natura nella frazione compresa tra 125-250 micron è, con tutta probabilità, da ricercarsi nei processi di selezione idraulica attivi negli ambienti di cordone litorale e/o fronte deltizia, in cui i tre campioni sono stati depositi, messa in luce anche dalla regolarità nella loro distribuzione granulometrica (fig. 32). Ciò rende non significativi i parametri petrologici ottenuti per questi campioni.

Analizzando i tre campioni petrograficamente significativi, si può osservare come non ci siano differenze rilevanti nel ricalcolo relativo alla Composizione Principale dell'Ossatura (Q-F-L+C), mentre è evidente come a livello di Composizione della Frazione Litica dell'Ossatura (Lm-Lv-Ls+C) il campione a m

18,8 (sabbie di retrocordone in laguna) sia sostanzialmente diverso da quelli a m 32,8 e m 109,9 (entrambi di canale fluviale) per un'alta percentuale di frammenti di origine metamorfica. In base a ciò è possibile attribuire il campione a 18,8 m alla petrofacies padana s.s. (cfr. MARCHESINI *et alii*, 2000), riferibile a sabbie originariamente provenienti dal fiume Po e poi ridistribuite in ambiente litorale, mentre i restanti due campioni significativi (39,2 e 109,9 m) sono ascrivibili ai depositi alluvionali appartenenti alla petrofacies appenninica (MARCHESINI *et alii*, 2000).

Un'attribuzione qualitativa utile a distinguere tra depositi padani ed appenninici può essere stimata dal rapporto tra grani litici metamorfici (Lm) e silicoclastici+carbonatici (Ls+C). Come riportato nel diagramma di figura 31b, si può evidenziare un dominio padano quando la percentuale di $Lm > 50\%$, mentre, quando i litici metamorfici sono subordinati rispetto a quelli silico-carbonatici ($Lm < 50\%$) possiamo attribuire i campioni ad un dominio appenninico.

Nella figura 31a si può osservare come, rispetto ai valori attuali, i campioni del sondaggio ritenuti di pertinenza appenninica mostrino un incremento di quarzo e feldspati a discapito dei frammenti litici e carbonatici. Inoltre, la figura 31b mette in luce che, anche se in proporzioni diverse, i valori dei frammenti silico-carbonatici sono mediamente più bassi rispetto a quelli del Reno attuale, ciò comporta conseguentemente valori più alti di frammenti metamorfici. Una possibile spiegazione di tale scostamento tra i valori può essere dovuta agli effetti di alterazione/dissoluzione che agiscono con maggiore evidenza sui grani litici instabili, carbonatici in particolare, nei campioni di sottosuolo.

PROGETTO
CARG

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACCORDI & LIPPARINI (1958) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 88 - Imola*. Serv. Geol. d'Italia, Roma.
- AGIP (1972) - *Acque dolci sotterranee*. Grafiche Palombi, Roma, 914 pp.
- AGIP (1982) - *Lessico delle Formazioni del bacino padano*. In G. CREMONINI, F. RICCI LUCCHI (Ed.), Guida del margine Appenninico-Padano. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., 205-236.
- AGIP (1994) - *Acque dolci sotterranee*. Graf 3, Roma, 515 pp.
- ALLEN P.A., HOMEWOOD P. & WILLIAMS G.D. (1986) - *Foreland basins: an introduction*. In: ALLEN P. & HOMEWOOD P.: "Foreland basins", I.A.S. Spec. Publ. 8: 3-12.
- AMOROSI A., ASIOLI A., M. BONDESAN, CIBIN U., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., PASINI G., PRETI D., ROVERI M., SARTI G., SEVERI P., STEFANI M., TRINCARDI F., VAIANI S.C. & VINCENZI S. (2000) - *Dalle conoidi pedemontane al mare aperto: l'architettura stratigrafica tardo-quadernaria dell'Adriatico settentrionale e della pianura costiera emiliano-romagnola*. Atti del convegno: Le Pianure Conoscenza e salvaguardia, Ferrara (8-11 Novembre 1999), 191-194.
- AMOROSI A., BARBIERI M., CASTORINA F., COLALONGO M.L., PASINI G. & VAIANI S.C. (1998a) - *Sedimentology, micropaleontology, and strontium-isotope dating of a lower-middle Pleistocene marine succession ("Argille Azzurre") in the Romagna-Appennine, northern Italy*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 117: 789-806.
- AMOROSI A., CAPORALE L., CIBIN U., COLALONGO M.L., PASINI G., RICCI LUCCHI F., SEVERI P. & VAIANI S.C., (1998) - *The Pleistocene littoral deposits (Imola Sands) of the northern Apennines foothills*. Giornale di Geologia, 60: 83-118.
- AMOROSI A., CENTINEO M.C., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., PASINI G., SARTI G. & VAIANI S.C. (2003) - *Facies architecture and latest Pleistocene-Holocene depositional history of the Po delta (Comacchio Area), Italy*. Journal of Geology, 111: 39-56.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., CORREGGIARI A., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIANI & SARTI G. (2004) - *Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. Global and Planetary Change, 40: 55-78.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., FUSCO F., PASINI G. & FIORINI F. (1999b) - *Glacio-eustatic control of continental-shallow marine cyclicity from Late Quaternary deposits of the south-eastern Po Plain (Northern Italy)*. Quaternary Research, 52: 1-13.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., PASINI G. & PRETI D. (1999a) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*. Sedimentology, 46: 99-121.
- AMOROSI A. & FARINA M. (1995) - *Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (northern Italy)*. Giornale di geologia, 57: 3-16.
- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996) - *Genetically Related alluvial deposits across active fault zone: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. Sedimentary Geology, 102: 275-295.
- AMOROSI A., FORLANI L., FUSCO F. & SEVERI P. (2002) - *Cyclic patterns of facies and pollen associations from Late Quaternary deposits in the subsurface of Bologna*. GeoActa, 1: 83-94.
- AMOROSI A. & MARCHI N. (1999) - *High-resolution sequence stratigraphy from piezocone tests: an example from the Late Quaternary deposits of the SE Po Plain*. Sedimentary Geology, 128: 69-83.

- ASLAN A. & AUTIN W.J. (1999) - *Evolution of the Holocene Mississippi River floodplain, Ferriday, Louisiana: insights on the origin of fine-grained floodplains*. Journal of Sedimentary Research, **69**: 800-815.
- BASSETTI M.A. & SARTI G. (1997) - *Stratigraphy of terraced fluvial deposits of Conca River (Northern Apennines, Italy)*. Giornale di Geologia, **59** (1-2): 81-90.
- BENDER M., SOWERS T., DICKSON M.-L., ORCHARDO J., GROOTES P., MAYEWSKI P.A. & MEESE D.A. (1994) - *Climate correlations between Greenland and Antarctica during the past 100.000 years*. Nature **372**: 663-666.
- BERTOLDI R. (1981) - *Le vicende vegetazionali e climatiche nella sequenza paleobotanica würmiana e post-würmiana di Lagdei (Appennino settentrionale)*. Ateneo Parm. Acta Nat., **16**: 147-175.
- BERTOLDI R. (1997) - *Lineamenti palinostratigrafici di depositi continentali del Pliocene-Pleistocene inferiore iniziale dell'Italia nord-occidentale*. Boll. Soc. Paleont. It., **36** (1-2): 63-73.
- BERTOLDI R. (2000) - *Storia del popolamento vegetale della pianura del Po*. In: FERRARI C. & GAMBIL. (a cura di), Un Po di terra, Diabasis, 538 pp.
- BERTOLDI R., RIMOSI A.M., BORGHI M.L. & MAGRI D. (1986) - *Studio di una piccola torbiera montana dell'Appennino emiliano attraverso i microfossili vegetali*. L'Italia forestale e montana, **4**: 216-230.
- BLUM M.D. (1993) - *Genesis and architecture of incised valley fill sequences: a late Quaternary example from the Colorado River, Gulf Coastal Plain of Texas*. In: WEIMER P. & POSAMENTIER H.W. (eds.), Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications. Tulsa AAPG Memoir, **58**: 259-283.
- BLUM M.D. & TÖRNQVIST T.E. (2000) - *Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward*. Sedimentology, **47** (Suppl. 1): 2-48.
- BONDESAN M. (1986) - *Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese*. In: *La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo*, Atti del Convegno nazionale di studi storici, Comacchio (1984), 17-28.
- BRIZIO E. (1883-84) - *Villaggio preistorico a fondi di capanne scoperto nell'Imolese*. Atti e Memorie R. Deputazione Storia Patria Prov. Romagna, **2** (1883-84): 93-150.
- BRUNETTI A., DENÈFLE M., FONTUGNE M., HATTÉ C. & PIRAZZOLI P.A. (1998) - *Sea-level and subsidence data from a Late Holocene back-barrier lagoon (Valle Staudiana, Ravenna, Italy)*. Marine Geology, **150**: 29-37.
- BURNS B.A., HELLER P.L., MARZO M. & PAOLA C. (1997) - *Fluvial response in a sequence stratigraphic framework: example from the Montserrat fan delta, Spain*. Journal of Sedimentary Research, **67**: 311-321.
- CANI N. (1974a) - *Ritrovamenti romani nelle cave della fornace di Lugo di Romagna*. Studi Romagnoli, **25**: 317-322.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 88 - Imola (1958) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000, Foglio 89 - Ravenna (1956) - Servizio Geologico Nazionale.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 254 - Modigliana (2001) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 218 - Castelnuovo ne' Monti (2002) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.

- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna (2002) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 199 - Parma sud (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 219 - Sassuolo (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 240/41 - Forlì Cervia (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 256 - Rimini (2005) - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 180 - Salsomaggiore (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 220 - Casalecchio di Reno (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 239 - Faenza (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000, Foglio 255 - Cesena (in stampa) - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- CASTIGLIONI G.B., BONDESAN M. & ELMI C. (1990) - *Geomorphological mapping of the Po Plain (Italy), with an example in the area of Ravenna*. Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. **80**: 35-44.
- CAVAZZA W., ZUFFA G.G., CAMPORESI C. & C. FERRETTI (1993) - *Sedimentary recycling in a temperate climate drainage basin (Senio River, north-central Italy): composition of source rock, soil profiles, and fluvial deposits*. GSA Bull., Special Paper **284**: 247-261.
- CHAPPELLAZ J., BLUNIER T., RAYNAUD D., BARNOLA J.M., SCHWANDER J. & STAUFFER B. (1993) - *Synchronous changes in atmospheric CH₄ and greenland climate between 40 and 8 kyr BP*. Nature, 336.
- CHIARUGI A. (1936) - *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria marittima. I. Cicli forestali postglaciali nell'Appennino etrusco attraverso l'analisi pollinica di torbe e depositi lacustri presso l'Alpe delle Tre Potenze e il M. Rondinaio*. Nuovo G. Bot. Ital. **43**: 3-61.
- CIABATTI M. (1966) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. Giornale di Geologia, **34** (2): 381-410.
- CIABATTI M. (1990) - *Geomorfologia ed evoluzione del Delta Padano*. In: Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa. Federazione Casse Risparmio e Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Milano, 57-76.
- CIABATTI M. & VEGGIANI A. (1990) - *Caratteri ed evoluzione del litorale emiliano-romagnolo*. In: Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa. Federazione Casse Risparmio e Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Milano, 77-94.
- CIBIN U. & DI GIULIO A. (1996) - *Proposta di normativa per l'analisi della composizione delle areniti al microscopio ottico nell'ambito della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. Boll. Serv. Geol. It., Roma, **CXV** (2001): 87-98.
- CNR (1990) - *Structural model of Italy and gravity map*. Quaderni della Ricerca Scientifica **144**, S.E.L.C.A., Firenze.
- CORBETTA F. (Coord.) (1982) - *La Foresta Panfilia o Bosco di S. Agostino*. Guide naturalistiche Regione Emilia-Romagna, 105 pp.
- CORBETTA F. & ZANOTTI A.L. (1974) - *La Foresta Panfilia: caratteristiche fitosociologiche e strutturali*. Archivio Botanico e Biogeografico Italiano, 50, 4^as. **XIX** (3-4): 159-170.

- CORREGGIARI A., FIELD M.E. & TRINCARDI F. (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas* (Ed. by M. De Batist e P. Jacobs), Geol. Soc. Amer. Sp. Publ., **117**: 155-169.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1996b) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. *Il Quaternario*, **9**: 697-704.
- CREMASCHI M. (1982) - *La formazione Fluvioiacustre del Pleistocene inferiore-medio nel Pedepennino emiliano*. In: CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F. (Editori) - *Guida alla Geologia del Margine appenninico padano*. *Guide Geol. Reg. S.G.I.*, 145-149.
- CREMASCHI M. & GASPERI G. (1989) - *L'“alluvione” alto-medievale di Modena (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **42**: 179-190.
- CREMONINI S. (1994) - *Lineamenti evolutivi del paesaggio fisico del territorio di Bagnacavallo nel contesto paleoidrografico romagnolo*. *Storia di Bagnacavallo*, vol. **1**: 1-39.
- DANSGAARD W., JOHNSEN S.J., CLAUSEN H.B., DAHL-JENSEN D., GUNDESTROP N.S., HAMMER C.U., HVIDBERG C.S., STEFFENSEN J.P., SVEINBJORNSDOTTIR A.E., JOUZEL J. & BOND G. (1993) - *Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record*. *Nature* **364**: 218-220.
- DI DIO G. (2005) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 199 - Parma sud*.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D. & SAGNE M. (1997a) - *Stratigrafia dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, **35**: 181-189.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D. & SAGNE M. (1997b) - *Carta Geologica dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. *Il Quaternario*, **10** (2): 443-450.
- DI GIULIO A. & R. VALLONI (1992) - *Analisi microscopica delle Areniti Terrigene: parametri petrologici e composizioni modal*. *Acta Ateneo Parmense*, **28** (3/4): 55-101, Parma.
- ELMI C. & NESCI O. (1991) - *Forme e movimenti recenti dell'alta pianura emiliano-romagnola*. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **46**: 497-502.
- ELMI C., NESCI O., SAVELLI D. & MALTARELLO G. (1987) - *Depositi alluvionali terrazzati del margine adriatico appenninico centro-settentrionale: processi geomorfologici e neotettonica*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **106**: 717-721.
- FABBRI A., ARGNANI A., BORTOLUZZI G., CORREGGIARI A., GAMBERI F., LIGI M., MARANI M., PENTENTI D., ROVERI M. & TRINCARDI F. (in stampa) - *Cartografia dei mari italiani alla scala 1:250.000: Note Illustrative Foglio Sperimentale JOG NL33 Ravenna*. Servizio Geologico Italiano Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- FACCHINI F. & GUERRA M.S. (1970) - *La necropoli romana di Bagnacavallo. I rinvenimenti scheletrici*. *Studi Romagnoli*, **21**: 19-26.
- FAEGRI K. & IVERSEN J. (1992) - *Text Book in pollen analysis*. Wiley & Sons, Chichester.
- FAEGRI K. & IVERSEN J. (1989) - *Textbook of pollen analysis*. IV Ed., John Wiley & Sons, Chichester, 328 pp.
- FAO (1967) - *Aerial photo interpretation in soil survey*. *Soils Bulletin*, **6**: 54 pp.
- FARABEGOLI E. (1985) - *Note geologiche sul territorio di S. Lazzaro di Savena*. In: F. LENZI, G. MENZIONNI, C. PERETTO (Ed), *Materiali e documenti per un museo della preistoria*. Mus. Arch. L. Donini, S. Lazzaro di Savena, Nuova Alfa Editore, 13-26.
- FARABEGOLI E. & ONOREVOLI G. (1989) - *Introduzione all'analisi dei depositi alluvionali quaternari del margine appenninico-padano. Il fiume Savio*. *Giornale di Geologia*, **51**: 119-146.

- FARABEGOLI E., ONOREVOLI G., RUFFINO C. & COSTANTINI B. (1997) - *Struttura del sottosuolo quaternario della Pianura Padana meridionale (Provincia di Ravenna - Italia)*. 12 Tavv. Università degli Studi di Bologna - AGIP. S.EL.CA., Firenze.
- FARREL K.M. (1987) - *Sedimentology and facies architecture of overbank deposits of the Mississippi River, False River Region, Louisiana*. In: F.G. ETHRIDGE et alii (Eds): *Recent developments in fluvial sedimentology*, SEPM Spec. Publ., **39**: 111-120.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L. (1988) - *250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma)*. *Pollen et Spores*, **30** (3-4): 329-356.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L. (1989) - *Pollen stratigraphical synthesis from Valle di Castiglione (Roma)*. *Quaternary International*, **3/4**: 81-84.
- FUSCO F. (1999) - *Palinologia ed evoluzione della flora, della vegetazione e del clima nel sodaggio S17*. In: AMOROSI A. (a cura): *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna*, 127-130.
- FUSCO F. (in stampa) - *La storia della flora, della vegetazione e del clima degli ultimi 150.000 anni nel settore sud-orientale della Pianura Padana attraverso l'analisi pollinica*. Appendice palinologica. In: CIBIN U. & SEVERI P. (a cura): *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 240/241 - Forlì/Cervia*.
- GALLOWAY W.E. (1989) - *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I. architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units*. *AAPG Bulletin*, **73**: 125-142.
- GAMBI L. (1948) - *L'insediamento umano nella regione della bonifica romagnola*. *Memorie di Geografia Antropica*, CNR, **3**: 29-47.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M. & LABATE D. (1987) - *Evoluzione pio-quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura*. *Note Illustrative alla Carta Geologica*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **39**.
- GARZANTI E., SCUTELLA M. & C. VIDIMARI (1988) - *Provenance from ophiolites and oceanic allochthons: modern beach and river sands from Liguria and the Northern Apennines (Italy)*. *Ofioliti*, **23** (2): 65-82.
- GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G. & PAGANELLI, L. (1973) - *Provenienza e Dispersione Litoranea delle Sabbie delle Spiagge Adriatiche fra le Foci dell'Isonzo e del Foglia: Inquadramento Regionale*. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. **12**: 1-37.
- GIRAUDI C. (2003) - *Middle Pleistocene to Holocene appendine glaciations (Italy)*. *Il Quaternario* **16** (bis): 37-48.
- GUARNIERI C. (1994) - *Gli scavi dell'edificio rustico di S. Prospero e del sepolcreto di via Reggiana: notizie preliminari*. *Archeologia del territorio nell'Imolese*, 131-133.
- GUILLET B. & PLANCHAIS N. (1969) - *Note sur une technique d'extraction des pollens des sols par une solution dense*. *Pollen et Spores*, **11** (1): 141-145.
- KHAN I.A., BRIDGE J.S., KAPPELMAN J. & WILSON R. (1997) - *Evolution of Miocene fluvial environments, eastern Potwar plateau, northern Pakistan*. *Sedimentology*, **44**: 221-251.
- LIPPARINI T. (1956) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 89 - Ravenna*. *Serv. Geol. d'Italia*, Roma.
- LIPPARINI T. (1963) - *Risorse idriche nel sottosuolo della provincia di Forlì (materiali per uno studio idrogeologico)*. *Giornale di Geologia*, **31**: 331-377.
- LOWE J.J. (1992) - *Lateglacial and early Holocene lake sediments from the northern Apennines, Italy - pollen stratigraphy and radiocarbon dating*. *Boreas*, **21**: 193-208.

- MANCINI F., MANSUELLI G.A. & SUSINI G. (1957) - *Imola nell'antichità*, Roma.
- MARABINI S., COSTA G.P., GIUSBERTI G., SAMI M., TAVIANI M., RICCI LUCCHI F. & VAI G.B. (1987) - *Rinvenimento di un cranio di Elephas nella parte alta delle "Sabbie Gialle" presso Faenza (Pleistocene)*. Rend. Soc. Geol. It., **10**: 55-58.
- MARCHESINI L., AMOROSI A., CIBIN U., ZUFFA G.G., SPADAFORA E. & PRETI D. (2000) - *Sand composition and sedimentary evolution of a Late Quaternary depositional sequence, Northwestern Adriatic coast, Italy*. Journal of Sedimentary Research, v. **70** (4): 829-838.
- MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYES J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1987) - *Age dating and the orbital theory of the ice ages - development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy*. Quaternary Research, **27**: 1-29.
- MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA (1997) - *Carta Geomorfológica della Pianura Padana alla scala 1:250.000*. S.EL. CA., Firenze.
- MITCHUM R.M., VAIL P.R. & THOMPSON S., III (1977) - *The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis*. In: C. E. PAYTON (Ed.) Seismic Stratigraphy-Application to Hydrocarbon Exploration. Am. Ass. Petrol. Geol. Memoir, **26**: 53-62.
- MITCHUM R.M. & VAN WAGONER J.C. (1991) - *High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphy evidence of high-frequency eustatic cycles*. Sedimentary Geology, **70**: 131-160.
- MONTEVECCHI G. & NOVARA P. (2000) - *In agro decimano: per un catalogo del patrimonio storico archeologico del territorio a sud di Ravenna*. Comune di Ravenna. Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna. Danilo Montanari Editore, 222 pp.
- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E. (1991) - *Pollen Analysis*. II Ed., Blackwell Scientific Publications, 276 pp.
- MULLENDERS W., FAVERO V., COREMANS M. & DIRICKX M. (1996) - *Analyses pollinique de sondages a Venise (VE-I, VE-I bis, VE-II)*. Aardkundige Mededelingen, **7**: 87-117.
- MUTTI E., DAVOLI G., MORA S. & SGAVETTI M. (1994) - *Conceptual stratigraphic framework*. In: E. MUTTI, G. DAVOLI, S. MORA AND M. SGAVETTI, eds., The Eastern Sector of the South-Central Folded Pyrenean Foreland: Criteria for Stratigraphic Analysis and Excursion Notes. Second High-Resolution Sequence Stratigraphy Conference, 20-26 June 1994, Tremp, Spain, 1-16.
- MUTTONI G., CARCANO C., GARZANTI E., GHIELMI M., PICCIN A., PINI R., ROGLEDI S. & SCIUNNACH D. (2003) - *Onset of major Pleistocene glaciations in the Alps*. Geology, **31** (11): 989-992.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983) - *North American Stratigraphic Code*. AAPG Bulletin, **67**: 841-875.
- OLSEN T., STEEL R., HØGSETH, SKAR T. & RØE S-L. (1995) - *Sequential architecture in a fluvial succession: sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Price Canyon, Utah*. Journal of Sedimentary Research, **B65**: 265-280.
- PAGANELLI A. (1961) - *Il graduale impoverimento della flora forestale nel Quaternario della Pianura Padana*. Nuovo Giornale Botanico Italiano, **68**: 109-117.
- PAREA G.C. (1991) - *I terrazzi marini dell'Emilia-Romagna nella stratigrafia sequenziale del Pleistocene superiore*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**: 191-206.
- PETIT J.R., JOUZEL J., RAYNAUD D., BARKOV N.I., BARNOLA J.M., BASILE I., BENDER M., CHAPPELLAZ J., DAVIS M., DELAYGUE G., DELMOTTE M., KOTLYAKOV V.M., LEGRAND M., LIPENKOV V.Y., LORISUS C., PEPIN L., RITZ C., SALTZMAN E. & STIEVANARD M. (1999) - *Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature, **399**: 429-436.

- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. CNR Publ. 414 Progetto Finalizzato Geodinamica, 13 pp.
- PIGNATTI S. (1982) - *Flora d'Italia*. Calderini Ed., 3 Vol.
- PIGNATTI S. (1998) - *I boschi d'Italia. Sinecologia e biodiversità*. UTET, 677 pp.
- POAG C.W. & WARD L.W. (1993) - *Allostratigraphy of the U.S. Middle Atlantic Continental Margin - Characteristics, distribution, and depositional history of principal unconformity-bounded Upper Cretaceous and Cenozoic sedimentary units*. U.S. Geological Survey Professional Paper, **1542**: pp. 81.
- POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T. & VAIL P.R. (1988) - *Eustatic controls on clastic deposition I: Conceptual framework*. In: *Sea Level Changes: An Integrated Approach* (Ed. by C.K. WILGUS, B.S. HASTINGS, C.G.St.C. KENDALL, H.W. POSAMENTIER, C.A. ROSS & J.C. VAN WAGONER), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., **42**: 109-124.
- PRETI D. & GUERMANDI M. (1991) - *Esempio di applicazione delle "Unità Allostratigrafiche"*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**: 551-553.
- RAVAZZI C. (2003) - *An overview of the Quaternary continental stratigraphic units based on biological and climatic events in Italy*. Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences), **16** (1bis): 11-18.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1994) - *I suoli dell'Emilia-Romagna. Carta alla scala 1:250.000 e Note Illustrative*. Bologna, pp. 383.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999) - *Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna alla scala 1:250.000*. Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR (2002) - *Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo alla scala 1:250000*. S.EL.CA., Firenze.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. Bologna.
- REILLE M., DE BEAULIEU J.L., SVOBODOVA H., ANDRIEU-PONEL V. & GOEURY C. (2000) - *Pollen analytical biostratigraphy of the last five climatic cycles from a long continental sequence from the Velay region (Massif Central, France)*. Journal of Quaternary Science, **15** (7): 665-685.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G.F., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S. & RIO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico*. In: Guida alla geologia del margine appenninico padano (a cura di G. CREMONINI & F. RICCI LUCCHI). Guide Geologiche Regionali S.G.I. Bologna, 17-46.
- RIZZINI A. (1974) - *Holocene sedimentary cycle and heavy mineral distribution, Romagna-Marche coastal plain, Italy*. Sedimentary Geology, **11**: 17-37.
- SALVADOR A. (1994) - *International stratigraphic guide*, second edition - International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy. IUGS and GSA, pp. 214.
- SARTI G., PRETI D. & SEVERI P. (1997) - *Stratigrafia dei terrazzi intravallivi dei fiumi Savio, Bidente, Montone, Lamone, Senio e Santerno (margine romagnolo della catena appenninica): dati preliminari*. Geoitalia, I Forum FIST, Riassunti, **2**: 261-263.
- SCAGLIARINI D. (1968) - *Ravenna e le ville romane in Romagna*. Ravenna, 45-47.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) - *Cartografia geologica del Quaternario continentale*. In: Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento. Quaderni SGN, Serie III, **1**: 67-86.

- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE & REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna*. Appendice 4: Petrografia delle unità sabbiose, a cura di MARCHESINI L., SPADAFORA E., CIBIN U. & ZUFFA G.G.
- SHANLEY K.W. & McCABE P.J. (1994) - *Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata*. AAPG Bulletin, **78**: 544-568.
- STOCKMARR J. (1971) - *Tablets with spores in absolute pollen analysis*. Pollen et Spores, **13** (4): 615-621.
- STUIVER M. & REIMER P.J. (1993) - *Extended ¹⁴C database and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program*. Radiocarbon, **35**: 215-230.
- STUIVER M., REIMER P.J., BARD E., BECK J.W., BURR G.S., HUGHEN K.A., KROMER B., McCORMAC F.G., V.D. PLICHT J. & SPURK M. (1998) - *INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 cal BP*. Radiocarbon, **40**: 1041-1083.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M. (1994) - *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin*. Geo-Marine Letters, **14**: 41-51.
- TUCKER G.E. & SLINGERLAND R.L. (1996) - *Predicting sediment flux from fold and thrust belts*. Basin Research, **8**: 329-349.
- TZEDAKIS P.C. (1994) - *Vegetation change through glacial-interglacial cycles: a long pollen perspective*. Philosophical Transactions of Royal Society of London, B, **345**: 403-432.
- TZEDAKIS P.C., ANDRIEU V., DE BEALIEU J.-L., CROWHURST S., FOLLIERI M., HOOGHIEMSTRA H., MAGRI D., REILLE M., SADORI L., SHACKLETON N.J. & WIMSTRA T.A. (1997) - *Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500.000 years*. Earth and Planetary Science Letters, **150**: 171-176.
- VAI G.B. (1984) - *Quando barrivano sul Castellaccio gli ultimi elefanti*. In: *Pagine di vita e storia imolesi*. C.A.R.S. Imola, **2**: 195-219.
- VAIL P.R. (1987) - *Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure*. In: *Atlas of Seismic Stratigraphy*, Vol. 1 (Ed. by A.W. Bally). AAPG Stud. Geol., **27**: 1-10.
- VEGGI DONATI M.A. (1960) - *Ricerche e documentazioni su Bagnacavallo romana*. Bagnacavallo, **11**.
- VEGGIANI A. (1963) - *Stratigrafia dei depositi alluvionali recenti nella zona di Massa Lombarda*. Studi Romagnoli, **14**: 175-184.
- VEGGIANI A. (1965) - *Trasporto di materiale ghiaioso per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario*. Boll. Soc. Geol. It., **84**: 315-328.
- VEGGIANI A. (1973) - *Le trasformazioni dell'ambiente naturale del Ravennate negli ultimi millenni*. Studi Romagnoli, **24**: 3-26.
- VEGGIANI A. (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del fiume Po negli ultimi 3000 anni*. Padusa, Rovigo, **1-2**: 39-60.
- VEGGIANI A. (1982) - *La piccola età glaciale e gli impaludamenti tra Conselice e Alfonsine*. Studi Romagnoli, **33**: 1-18.
- VEGGIANI A. (1984a) - *Trasformazioni e continuità: motivazioni geomorfologiche 2: la centuriazione cesenate*. Comune di Cesena.
- VEGGIANI A. (1984b) - *Il deterioramento climatico dei secoli XVI-XVIII e i suoi effetti sulla bassa Romagna*. Studi Romagnoli, **35**: 109-124.

- VEGGIANI A. (1986) - *L'ottimo climatico medievale in Europa. Testimonianze lungo la fascia costiera padano-adriatica*. Studi Romagnoli, **37**: 1-26.
- VEGGIANI A. (1987) - *Stratigrafie archeologiche e abbassamento del suolo nella pianura emiliano-romagnola*. Studi Romagnoli, **38**: 331-352.
- VEGGIANI A. (1990) - *Fluttuazioni climatiche e difesa del suolo nella Pianura Padana orientale, tra i secoli XIV e XVII*. Atti del convegno "Uomini, Terra e Acque", Rovigo (19-20 Novembre 1988), 25-47.
- VEGGIANI A. (1994) - *I deterioramenti climatici dell'età del ferro e dell'alto medioevo*. Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere, Faenza, **45**: 3-80.
- VON ELES MASI P. & STEFFÉ G. (1986a) - *Lugo di Romagna (Ravenna). Fornace Battelli*. Studi e Documenti di Archeologia, **II vol.**: 154-156.
- VON ELES MASI P. & STEFFÉ G. (1986b) - *Lugo di Romagna: scavo di un abitato del Neolitico antico*. Dialoghi di Archeologia, **2**: 219-223.
- WOILLARD G.M. (1978) - *Grand Pile peat bog: a continuous pollen record for the last 140.000 years*. Quaternary Research, **9**: 1-21.
- WOILLARD G.M. & MOOK W.G. (1982) - *Carbon-14 dates at Grand Pile: correlation of land and sea chronologies*. Science **215**: 159-161.
- ZANGHERI P. (1976) - *Flora italica*. CEDAM-Padova, **2 voll.**